



Universidade de Aveiro Departamento de Ambiente e Ordenamento

Ano 2009

**Alessandro Fernandes Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização
da Silva Duarte e Selagem de Aterros**



Alessandro Fernandes da Silva Duarte Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização e Selagem de Aterros

dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica do Prof. Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos, Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

"A preservação do meio ambiente começa com pequenas atitudes diárias, que fazem toda a diferença. Uma das mais importantes é a reciclagem do lixo."

Natália Alves

o júri

presidente

Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogal

Professor Doutor Manuel Arlindo Amador de Matos

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

(Orientador)

vogal

Professora Doutora Isabel Maria da Assunção de Marta Oliveira Bentes

Professora Associada, Departamento de Engenharia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

(Arguente)

agradecimentos

Não foi fácil concluir este projecto que propus a mim mesmo mas, apesar de todas as dificuldades inerentes às circunstâncias em que foi realizado, penso ter adquirido mais-valias na sua realização!

Gostava de agradecer a todos aqueles que me apoiaram durante este tempo, quer tenha sido com colaboração técnica, teórica ou mesmo e só com a sua paciência!

palavras-chave

Geossintéticos, aterro de inertes, aterro de resíduos não perigosos, aterro de resíduos perigosos, geomembrana, geotêxtil, bentonite, geocomposto bentonítico, geocomposto drenante, geogrelha, sistema de detecção de fugas, qualidade.

resumo

Os aterros controlados que actualmente operam em Portugal obedecem a critérios de construção e exploração muito mais restritivos que aqueles que deram origem às “lixeiros” que constituíam o modo de acondicionamento final dos resíduos urbanos na maioria dos municípios portugueses.

Este documento descreve os processos de impermeabilização e selagem de aterros recorrendo ao uso de geossintéticos analisando passo a passo cada tarefa necessária à sua implementação e as alternativas existentes actualmente no mercado para cada uma delas.

As características técnicas que tornam fiáveis e seguros os referidos processos, tanto para o ambiente como para a população, incluem o controlo de qualidade quer dos materiais quer da aplicação técnica dos mesmos e os métodos utilizados actualmente que reforçam a segurança destas aplicações (como sejam os sistemas de detecção de fugas).

Todo o trabalho apresentado é fruto da avaliação e acompanhamento directo de obras realizadas no âmbito dos processos de impermeabilização e selagem de aterros, esperando-se que no final o leitor possa ter ficado esclarecido acerca das técnicas utilizadas actualmente para eliminação de resíduos em aterro, tendo em vista garantir a protecção da saúde pública e do meio ambiente.

keywords

Geosynthetics, inert waste landfill, non-hazardous waste landfill, hazardous waste landfill, geomembrane, geotextile, bentonite geocomposite bentonite, geocomposite drainage, geogrid, leakage detection system, quality.

abstract

The controlled landfills currently operating in Portugal meet much more restrictive criteria for construction and operation than those that led to the “laystall” that were the way to final deposition of waste in most Portuguese municipalities.

This document describes the process of landfills sealing, through the use of geosynthetics, analyzing step by step every task necessary for its implementation and the alternatives currently on the market.

The technical characteristics that make these proceedings reliable and safe, both to the environment and the population, includes quality control of the materials and technical application, and the currently used methods to strengthen security of these applications (such as the leakage detection systems).

All work submitted is the result of direct monitoring and evaluation of works carried out in connection with the sealing of landfills, it is expected that in the end the reader may have been informed about the techniques currently used for waste disposal in landfills, and to ensure the protection of public health and the environment.

Índice

Índice.....	i
Índice de figuras.....	v
Índice de tabelas.....	ix
Lista de abreviaturas.....	x
Nomenclatura	xii
1 Introdução	1
1.1 Das lixeiras aos aterros	2
1.2 Situação nacional actual.....	4
1.2.1 Lixeiras encerradas.....	4
1.2.2 Aterros em actividade e capacidades de deposição para resíduos urbanos e industriais	4
1.2.3 Perspectiva futura para novos aterros e centrais de valorização.....	8
1.3 Legislação em vigor	9
1.4 Legislação relativa a aterros.....	16
1.4.1 Licenciamento da instalação, construção e exploração.....	16
1.4.2 Prevenção e controlo integrados da poluição (PCIP)	22
1.4.3 Classes de aterros	23
1.5 O uso de geossintéticos em aterros controlados.....	24
1.6 Objectivos e metodologia deste trabalho	26
2 Tecnologias de aterro	27
2.1 Localização.....	27
2.2 Projecto de execução e de exploração	27
2.3 Controlo de emissões.....	28
2.3.1 Sistema de protecção ambiental passiva.....	29
2.3.2 Sistema de protecção ambiental activa.....	30
2.4 Requisitos de estabilidade.....	32
2.5 Equipamentos, instalações e infra-estruturas de apoio	32
2.6 Acompanhamento e controlo nas fases de exploração e pós-encerramento	33
2.6.1 Acompanhamento e controlo na fase de exploração.....	33
2.6.1.1 Manual de exploração.....	33
2.6.1.2 Relatórios de actividade.....	34
2.6.1.3 Registos	34
2.6.1.4 Controlo de assentamentos e enchimento.....	35
2.6.1.5 Controlo dos lixiviados	35
2.6.1.6 Controlo das águas superficiais	36
2.6.1.7 Controlo do biogás.....	36
2.6.1.8 Controlo das águas subterrâneas.....	36

2.6.1.9	Outros requisitos.....	37
2.6.2	Fase pós-encerramento	38
2.6.2.1	Condições gerais	38
2.6.2.2	Relatórios	38
2.6.2.3	Manutenção.....	39
2.6.2.4	Controlo dos dados meteorológicos e assentamentos.....	39
2.6.2.5	Controlo dos lixiviados	40
2.6.2.6	Controlo de gases.....	40
2.6.2.7	Controlo das águas superficiais e subterrâneas	40
3	Impermeabilização de aterros.....	41
3.1	Geossintéticos.....	41
3.1.1	Sistemas de impermeabilização	42
3.1.2	Equipamentos de apoio à instalação e aplicação de geossintéticos.....	43
3.2	Geogrelhas	45
3.2.1	Características e aplicações.....	45
3.2.2	Tipos de geogrelhas.....	46
3.2.3	Instalação de geogrelhas	47
3.3	Georredes e geocompostos drenantes	51
3.3.1	Características da georrede	52
3.3.2	Geocomposto drenante.....	53
3.3.3	Aplicações dos geossintéticos.....	54
3.3.3.1	Drenagem em planos inclinados	54
3.3.3.2	Drenagem horizontal.....	54
3.3.3.3	Como protecção	55
3.3.4	Instalação de georredes e geocompostos drenantes	55
3.3.5	Vantagens da utilização de georredes e de geocompostos drenantes	56
3.4	Geotêxteis.....	58
3.4.1	Tipos de geotêxteis	58
3.4.2	Funções e aplicações dos geotêxteis	59
3.4.2.1	Protecção	59
3.4.2.2	Separação	60
3.4.2.3	Filtragem	61
3.4.2.4	Drenagem.....	61
3.4.2.5	Reforço.....	62
3.4.3	Instalação dos geotêxteis	63
3.5	Geocomposto bentonítico.....	64
3.5.1	Generalidades.....	64
3.5.2	A bentonite.....	65
3.5.2.1	Estado físico	65

3.5.2.2	Tipos de bentonite	66
3.5.2.3	Massa da bentonite.....	67
3.5.3	Características	67
3.5.4	Tipos de geocompostos bentoníticos.....	70
3.5.4.1	Adesivos.....	71
3.5.4.2	Costura.....	71
3.5.4.3	Agulhagem	72
3.5.4.4	Soldadura a quente.....	72
3.5.5	Propriedades relevantes.....	73
3.5.5.1	Condutividade hidráulica	73
3.5.5.2	Resistência ao corte	74
3.5.5.3	Autocicatrização	74
3.5.6	Funções e aplicações dos geocompostos bentoníticos	74
3.5.7	Vantagens do uso dos geocompostos bentoníticos	77
3.5.8	Instalação dos geocompostos bentoníticos.....	77
3.6	Geomembrana	79
3.6.1	Características	79
3.6.2	Armazenamento e transporte da geomembrana	81
3.6.3	Processos de soldadura	82
3.6.3.1	Soldadura dupla.....	83
3.6.3.2	Soldadura por extrusão.....	85
3.6.3.3	Soldadura por máquina de ar quente	87
3.6.4	Preparação das superfícies que receberão a geomembrana	89
3.6.4.1	Superfície de apoio.....	90
3.6.4.2	Valas de amarração/ancoragem	90
3.6.5	Instalação da geomembrana	91
3.6.5.1	Colocação da geomembrana	91
3.6.6	Aplicação da geomembrana	93
3.6.6.1	Soldadura por dupla-pista	94
3.6.6.2	Soldadura por extrusão.....	98
3.6.7	Aplicações	100
3.6.7.1	Aterros de resíduos perigosos.....	100
3.6.7.2	Selagem de aterros.....	102
4	Controlo de qualidade em sistemas de impermeabilização de aterros.....	103
4.1	Recepção qualitativa em obra	103
4.2	Recepção quantitativa em obra	103
4.3	Produto não conforme.....	103
4.4	Aprovisionamento.....	104
4.4.1	Geocompostos bentoníticos	104

4.4.2	Geotêxteis, geocompostos drenantes e geogrelhas.....	104
4.4.3	Geomembrana	105
4.5	Controlo de qualidade dos geossintéticos aplicados	105
4.5.1	Controlo de qualidade da geomembrana (ensaio às soldaduras)	106
4.5.1.1	Ensaio de pré-qualificação	106
4.5.1.2	Ensaio não-destrutivo.....	107
4.5.1.3	Ensaio destrutivo.....	110
4.5.2	Método eléctrico de detecção de fugas	118
4.5.2.1	Modo de funcionamento.....	119
4.5.2.2	Descrição dos componentes do sistema	121
4.5.2.3	Detecção de fuga – caso prático	124
5	Conclusões	127
	Referências bibliográficas	129
	Anexo A – Exemplo de características técnicas de geogrelhas.....	131
	Anexo B – Exemplo de características técnicas de geocomposto drenante (geotêxtil+georrede)	132
	Anexo C – Exemplo de características técnicas de geotêxteis.....	133
	Anexo D – Exemplo de características técnicas de um geocomposto bentonítico	135
	Anexo E – Exemplo de características técnicas de uma geomembrana lisa.....	136
	Anexo F – Impresso de qualidade e layout de aplicação	137
	Anexo G – Impresso tipo de testes não destrutivos	139
	Anexo H – Impresso tipo de testes destrutivos	140

Índice de figuras

Figura 1.1 – Evolução do número de lixeiras activas.	4
Figura 3.1 – Máquina retroescavadora: responsável pelo armazenamento, transporte e apoio à instalação dos geossintéticos.	44
Figura 3.2 – Canga: equipamento de suporte dos geossintéticos e apoio à instalação.....	44
Figura 3.3 – Gerador e extensões eléctricas: alimentação eléctrica dos equipamentos.....	44
Figura 3.4 – a) Cortador de lâmina curva: para acertos e cortes nos geossintéticos e b) Agarra: ferramenta utilizada exclusivamente para puxar e colocar a geomembrana no local correcto e c) Rebarbadora de discos abrasivos: para preparar a área a soldar por soldadura por extrusão.	44
Figura 3.5 – Pá e sacos de fibra: para calcar e segurar provisoriamente os geossintéticos aplicados e escadas de madeira para execução de soldaduras e segurar provisoriamente os geossintéticos aplicados em taludes inclinados.	45
Figura 3.6 – Mecanismo do intertravamento geogrelha/solo ou material granular.	46
Figura 3.7 – Exemplo de geogrelhas simples e geogrelhas acopladas com geotêxtil.	47
Figura 3.8 – Aplicação de geogrelhas.....	48
Figura 3.9 – Operação de corte da geogrelha.....	49
Figura 3.10 – Reparação de geogrelhas.....	50
Figura 3.11 – Aplicação de geogrelhas em taludes de grande inclinação em aterro, por cima da geomembrana.	50
Figura 3.12 – Cobertura de geogrelhas em talude de aterro de resíduos.	51
Figura 3.13 – Exemplo de aplicação de geogrelhas em taludes de grande inclinação e topo de aterros.....	51
Figura 3.14 – Georrede.	52
Figura 3.15 – Geocomposto drenante com geotêxtil numa e duas faces.....	53
Figura 3.16 – Drenagem com geossintéticos em impermeabilizações (a) e selagens (b) de aterros.	55
Figura 3.17 – Aplicação de geocomposto drenante de águas pluviais na selagem de um aterro, recorrendo à união dos painéis por soldadura das abas suplementares com ar quente.....	56
Figura 3.18 – Vantagem do uso de geossintéticos em aterros de resíduos.	57
Figura 3.19 – Diferentes tipos de geotêxteis: a) geotêxtil tecido, b) geotêxtil não tecido ligado quimicamente, c) geotêxtil não tecido ligado termicamente, e c) geotêxtil não tecido ligado mecanicamente (por agulhagem).	58
Figura 3.20 – Principais funções dos geotêxteis de modo a cumprirem o seu desempenho.	59
Figura 3.21 – Exemplo de aplicações de geotêxteis com a função de protecção a geomembranas em reservatórios e aterros de resíduos.	60

Figura 3.22 – Exemplo de aplicação de geotêxtil de filtragem em aterros.	61
Figura 3.23 – Execução de valas de drenagem no fundo de um aterro.	61
Figura 3.24 – Aplicação de geotêxteis com função de protecção mecânica à geomembrana.	63
Figura 3.25 – Aplicação de geotêxteis com função de protecção mecânica e aos raios ultravioletas da geomembrana.	64
Figura 3.26 – Aplicação de geotêxtil de protecção contra os raios ultravioletas em aterro de resíduos inertes.	64
Figura 3.27 – Testes de impacto, usando este equipamento, mostra que alguns geocompostos bentoníticos são mais robustos do que outros.	69
Figura 3.28 – Argila Bentonítica envolvida por dois Geotêxteis.	71
Figura 3.29 – Argila Bentonítica aderida a uma Geomembrana.	71
Figura 3.30 – Argila Bentonítica pontuada entre dois Geotêxteis.	72
Figura 3.31 – Argila Bentonítica agulhada entre dois Geotêxteis.	72
Figura 3.32 – Exemplo de um geocomposto bentonítico com argila bentonítica entre dois geotêxteis.	73
Figura 3.33 – Exemplo de aplicação de geocomposto bentonítico em aterro de inertes.	75
Figura 3.34 – Exemplo de aplicação de geocomposto bentonítico em sistema composto com uma geomembrana na cobertura e em sistema duplo de revestimento de base de célula de resíduos.	76
Figura 3.35 – Segurança revelada na evolução dos sistemas de impermeabilização em aterros desde a utilização simples de argilas até à integração de geomembranas e geocompostos bentoníticos.	77
Figura 3.36 – Sobreposição da bentonite e aplicação de bentonite em pó nas juntas.	78
Figura 3.37 – Aplicação de geocompostos bentoníticos recorrendo ao auxílio de uma multifunções.	78
Figura 3.38 – Reparação de geocomposto bentonítico.	79
Figura 3.39 – Exemplos de aplicação de geocompostos bentoníticos em aterros de resíduos (a-d) e como protecção à geomembrana (d).	79
Figura 3.40 – Diferentes texturas das geomembranas em PEAD existentes no mercado.	81
Figura 3.41 – Armazenamento adequado da geomembrana.	82
Figura 3.42 – Transporte adequado e inadequado de geomembranas.	82
Figura 3.43 – Representação esquemática de uma máquina de soldadura dupla (a) e imagem real da mesma (b).	83
Figura 3.44 – Representação esquemática de uma soldadura dupla com o canal de comprovação de estanquicidade.	84
Figura 3.45 – Demonstração de execução de soldadura dupla.	85
Figura 3.46 – Representação esquemática de uma soldadura por extrusão.	86
Figura 3.47 – Representação esquemática de uma extrusora (a) e imagem real da mesma (b).	86

Figura 3.48 – Acessórios de uma máquina de soldar de ar quente (a) e imagem real da mesma (b).	88
Figura 3.49 – Representação esquemática da vala de amarração.....	91
Figura 3.50 – Disposição dos painéis para taludes com mais de quinze metros.....	92
Figura 3.51 – Disposição dos painéis para um talude com menos de quinze metros.....	92
Figura 3.52 – Exemplo de disposição correcta em curvas e sobreposição de fundo.....	92
Figura 3.53 – Exemplos de sobreposições horizontais em talude (não recomendável).	93
Figura 3.54 – Exemplo de sobreposições adequadas (a) e inadequadas (b) na base do aterro.....	93
Figura 3.55 – Soldadura por dupla pista – fluxograma da actividade.....	94
Figura 3.56 – Aplicação de geomembrana recorrendo ao uso de máquina de apoio.	95
Figura 3.57 – Colocação da geomembrana em talude.....	95
Figura 3.58 – Colocação da geomembrana na base do aterro.	96
Figura 3.59 – Ajustes da geomembrana para uma soldadura perfeita.....	96
Figura 3.60 – Soldadura da geomembrana.....	97
Figura 3.61 – Ancoragem provisória da geomembrana.....	97
Figura 3.62 – Preparação da geomembrana em zonas de sobreposição das mesmas.	98
Figura 3.63 – Soldadura por extrusão – fluxograma da actividade.	98
Figura 3.64 – Preparação de um remendo a aplicar na geomembrana.	99
Figura 3.65 – Colocação do remendo de geomembrana através da colagem do mesmo na zona danificada.....	99
Figura 3.66 – Execução de soldadura por extrusão num remendo na geomembrana.....	99
Figura 3.67 – Exemplo de sistema composto simples, utilizado na impermeabilização de aterros de resíduos não perigosos.	101
Figura 3.68 – Exemplo de sistema composto duplo, utilizado na impermeabilização de aterros de resíduos perigosos.	101
Figura 3.69 – Exemplo de sistema de selagem em aterro de resíduos.....	102
Figura 3.70 – Representação esquemática de uma configuração de impermeabilização e selagem de aterro.....	102
Figura 4.1 – Ensaio de pressão de ar.	107
Figura 4.2 – Ensaio de vácuo.....	108
Figura 4.3 – Esquema do ensaio do fio de cobre.	109
Figura 4.4 – Ensaio do fio de cobre com escova condutora.	110
Figura 4.5 – Preparação de provetes para ensaios destrutivos.	110
Figura 4.6 – Máquina portátil para ensaios destrutivos.	111
Figura 4.7 – Ensaio de resistência ao arranque e ao corte de soldaduras.	111
Figura 4.8 – Testes destrutivos à geomembrana, arranque e corte.....	114
Figura 4.9 – Esquema de amostragem.....	116
Figura 4.10 – Esquema do plano de corte dos provetes.	116
Figura 4.11 – Modo de funcionamento de um sistema de detecção de fugas.....	119

Figura 4.12 – Esquema do ensaio com sistema fixo de detecção e localização de orifícios.	120
Figura 4.13 – Geomembrana com fuga.	121
Figura 4.14 – Sensores instalados em sistema simples e duplo de impermeabilização.	122
Figura 4.15 – Cabos de um sistema de detecção de fugas em impermeabilização simples e dupla.	123
Figura 4.16 – Caixas de um sistema eléctrico de detecção de fugas.	123
Figura 4.17 – Exemplo de uma fuga detectada pelo sistema eléctrico de detecção de fugas.	125
Figura 4.18 – Detecção e localização da fuga através do cruzamento de dados do sistema.	125
Figura 4.19 – Reparação da fuga detectada recorrendo a um remendo de geomembrana em PEAD e soldadura por extrusão.	126

Índice de tabelas

Tabela 1.1 – Aterros para resíduos não perigosos de origem urbana	4
Tabela 1.2 – Aterros para resíduos não perigosos de origem industrial	6
Tabela 1.3 – Aterros para resíduos não perigosos de estabelecimentos industriais	6
Tabela 1.4 – Aterros para resíduos industriais de sectores específicos.....	7
Tabela 1.5 – Aterros para resíduos inertes destinados à recuperação paisagística de pedreiras.....	7
Tabela 1.6 – Aterros para resíduos perigosos	8
Tabela 1.7 – Aterros para resíduos perigosos	8
Tabela 1.8 – Número de aterros e centrais de valorização orgânica previstos por regiões	8
Tabela 2.1 – Requisitos mínimos a que os aterros, em função da correspondente classe, devem obedecer (Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto).....	29
Tabela 2.2 – Valores do coeficiente de permeabilidade para as diferentes classes de aterros (Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto).	30
Tabela 3.1 – Relevância das propriedades dos geotêxteis nas diferentes funções dos mesmos. ..	62
Tabela 3.2 – Características básicas das máquinas de soldadura dupla.	84
Tabela 3.3 – Características básicas das máquinas de ar quente.	88
Tabela 3.4 – Valores para a vala de amarração tendo em conta o comprimento dos taludes (ver Figura 3.49).....	91
Tabela 4.1 – Gama de pressões para geomembranas de PEAD lisas e texturadas.	108
Tabela 4.2 – Tipo de rotura das soldaduras por termofusão e por extrusão (baseado na norma ASTM D 6392).	112
Tabela 4.3 – Critérios de aceitação/rejeição para soldaduras de geomembrana em aterro de resíduos.	114

Lista de abreviaturas

AIA	–	Avaliação de Impacte Ambiental
APA	–	Agência Portuguesa do Ambiente
ARH	–	Administração de Região Hidrográfica
CCDR	–	Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional
CIRVER	–	Centros Integrados de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos
CPE	–	Polietileno Clorado
DIA	–	Declaração de Impacte Ambiental
ECB	–	Copolímero de Etileno com Betume
ENRRUBDA	–	Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis
GRI	–	Geosynthetic Research Institute
HDPE	–	Polietileno de Alta Densidade (PEAD)
LDPE	–	Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)
LLDPE	–	Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL)
MTD	–	Melhores Tecnologias Disponíveis
OCDE	–	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
PA	–	Poliamida
PCIP	–	Prevenção e Controlo Integrados da Poluição
PE	–	Polietileno
PERSU	–	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
PESGRI	–	Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais
PET	–	Poliéster (Polietileno tereftalato)
PIRSUE	–	Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados

PNAC	–	Plano Nacional para as Alterações Climáticas
PNAPRI	–	Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais
PP	–	Polipropileno
PS	–	Poliestireno
PVC	–	Cloreto de Polivinilo
RIB	–	Resíduos Industriais Banais
RIP	–	Resíduos Industriais Perigosos
RSU	–	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	–	Resíduos Urbanos
RUB	–	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SIRAPA	–	Sistema Integrado da Agência Portuguesa do Ambiente
SIRER	–	Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos
U.V.	–	Ultra-violeta
UE	–	União Europeia

Nomenclatura

K – Coeficiente de permeabilidade [m/s]

1 INTRODUÇÃO

Em pleno século XXI o tema da produção de resíduos é uma realidade que continua a constituir um desafio, não só ambiental, mas económico e social, à escala global. A produção de resíduos é responsável por inúmeros impactes no ambiente, relacionados principalmente com a poluição do ar e das águas superficiais e subterrâneas, pelo que uma política eficaz de gestão de resíduos contribuirá para a promoção da saúde pública e qualidade do ambiente, preservando os recursos naturais.

De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), entre 1995 e 2006 a produção de resíduos aumentou 15 %, e as estimativas avançadas por esta organização apontam para que em 2030 a produção de resíduos possa ser 38 % superior aos níveis de 1995 (OECD Environmental Outlook to 2030).

É necessário inverter esta tendência, pelo que a problemática da prevenção da produção e gestão de resíduos tem vindo a ser prioritária na agenda política nacional, comunitária e internacional. Ao nível comunitário, a gestão de resíduos tem constituído uma das prioridades da política ambiental nas últimas décadas, apresentando importantes desenvolvimentos. Actualmente, esta política na União Europeia (UE) é baseada no conceito da hierarquia de gestão de resíduos.

Nas décadas de 70 e 80, os sistemas de gestão de resíduos preocupavam-se principalmente com o controlo das emissões para o ar e para a água. Actualmente as preocupações estão mais centradas na aplicação do “*life cycle thinking*” à gestão de resíduos, sendo dado um maior ênfase à avaliação dos impactes ambientais da produção e gestão de resíduos ao longo de todo o ciclo de vida dos recursos.

Uma gestão adequada de resíduos começa pela prevenção – no pressuposto de que o que não é produzido não necessita de ser gerido. Assim, a prevenção, reflectida quer na minimização da produção de resíduos, quer na diminuição da sua perigosidade, deve adquirir a máxima prioridade em qualquer plano de gestão de resíduos. De acordo com as actuais políticas da UE, a eliminação de resíduos em aterro ou através de incineração, deve ser a última opção a tomar, uma vez que um dos principais objectivos da Directiva-quadro sobre resíduos recentemente aprovada (Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Novembro de 2008) é o de aproximar a UE de uma “sociedade da reciclagem”, procurando evitar a sua produção, incentivando a valorização

dos resíduos e a utilização dos materiais resultantes da valorização, a fim de preservar os recursos naturais.

1.1 DAS LIXEIRAS AOS ATERROS

A responsabilidade pela gestão dos resíduos urbanos é dos municípios onde ocorrem. Apesar disto, a existência de infra-estruturas de recolha tem uma expressão nacional a partir da década de 70. Alguns contentores de armazenamento de lixo eram colocados em vários pontos do concelho, geralmente nos lugares com maior população ou nos sítios onde existia comércio mais intenso ou indústrias mais relevantes. Periodicamente um camião de lixo (muitas vezes, um simples camião de caixa aberta) recolhia os contentores ou o seu conteúdo, e levava-o para a “lixreira”.

Estas lixeiras eram geralmente terrenos baldios, localizados fora das povoações e relativamente afastados de aglomerados populacionais ou de habitações isoladas. A selecção deste terreno era essencialmente o resultado da procura de um local que estivesse disponível e que se encontrasse por um lado, relativamente perto do centro de gravidade das povoações principais e, por outro, suficientemente afastado para não afectar as populações com os cheiros exalados.

Por vezes, o terreno permanecia propriedade privada e a autarquia pagava uma renda mensal pela sua ocupação, mas mais frequentemente eram parcelas adquiridas pelo município. O lixo para ali transportado era depositado à superfície do terreno, exalando um cheiro pestilento e constituindo alimento para um conjunto de espécies faunísticas oportunistas, conhecidas como vectores (ratos, insectos, aves).

Muitas vezes, recorria-se a equipamentos de terraplanagem para dispor os resíduos de uma forma mais adequada, para os arrumar por locais ou por tipo de material. Embora sempre condenável, em pequenos municípios este tipo de acondicionamento era tolerado porque o volume de resíduos era relativamente reduzido. Em médios e grandes aglomerados populacionais esta situação era insustentável. A deposição de lixos à superfície representava um atentado ambiental constituindo geralmente um foco de poluição e de contaminação dos terrenos e dos aquíferos.

Ocorriam fenómenos de combustão espontânea e mesmo explosões em algumas lixeiras, e em épocas invernosas, a água das chuvas encharcava os locais, misturava-se com os resíduos e produzia lixiviados que escorriam pela superfície do terreno

contaminando culturas e as linhas de água, ou então infiltravam-se levando a sua carga poluente para os solos e para os aquíferos.

Numa fase mais recente (que talvez se possa reportar há cerca de duas dezenas de anos) as populações foram sendo sensibilizadas para os problemas que semelhantes práticas representavam para o meio ambiente e os municípios adoptaram soluções mais consentâneas com os desenvolvimentos tecnológicos que estavam em curso em países mais desenvolvidos. Nuns casos, o lixo era simplesmente recoberto com solos do local, noutros havia a prática de misturar os lixos com solos, noutros ainda ensaiaram-se os primeiros aterros sanitários com células de resíduos, embora os elementos de protecção (camadas impermeabilizantes e camadas drenantes) não fossem objecto de qualquer dimensionamento ou de estabelecimento de critérios bem definidos e compatíveis com o tipo de terreno em presença e o tipo de resíduo acondicionado.

Estas “lixeiros” foram muitas vezes apelidadas de “aterros sanitários” e embora geralmente menos agressivas do que a simples deposição de lixos à superfície de terrenos, representavam ainda focos de poluição que afectavam solos e aquíferos (Paulino Pereira, J. & Nunes da Costa, C., 1995).

Mais recentemente, desde há cerca de uma dezena de anos, foi possível sensibilizar os dirigentes autárquicos para a problemática dos resíduos sólidos urbanos, tentando integrá-los numa análise abrangente e racional. O Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I), publicado em Novembro de 1996, constituiu um modo de analisar o problema existente em termos regionais, agregando as autarquias entre si e fomentando o apoio estatal para o arranque dos designados “aterros sanitários”, com projectos e construções conformes os parâmetros adoptados a nível europeu e americano.

Esta política assentou essencialmente em duas vertentes: assegurar o tratamento e a reciclagem dos resíduos urbanos; procurar educar as populações, integrando-as numa política de gestão global de resíduos.

Relativamente aos resíduos industriais, a importância crescente da sua gestão no desenvolvimento harmonioso de uma sociedade moderna tem vindo a fazer-se sentir cada vez com mais acuidade no nosso país.

A estratégia nacional e comunitária no que respeita aos resíduos em geral e em especial aos resíduos industriais aponta para o desenvolvimento sustentável, ou seja, a gestão de resíduos deve proporcionar uma elevada protecção do ambiente sem que isso afecte o desenvolvimento social e industrial.

1.2 SITUAÇÃO NACIONAL ACTUAL

1.2.1 LIXEIRAS ENCERRADAS

A figura seguinte representa a evolução do número de lixeiras municipais existentes em Portugal, desde 1996, encontrando-se actualmente, e desde 2002, todas as lixeiras municipais encerradas. A partir desse ano, passou-se a fazer a deposição dos resíduos em aterros sanitários projectados, construídos e explorados de acordo com a legislação em vigor.

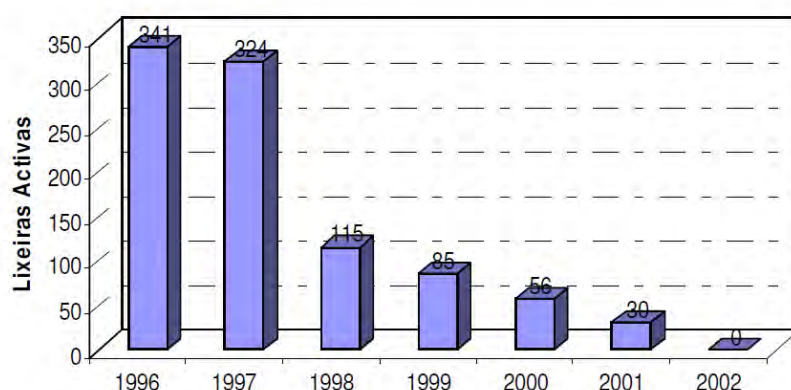


Figura 1.1 – Evolução do número de lixeiras activas (MAOTDR, 2007).

Destas, 96 encontram-se na região Norte, 83 na região Centro, 50 na região de Lisboa e Vale do Tejo, 92 na região do Alentejo e 20 na região do Algarve.

1.2.2 ATERROS EM ACTIVIDADE E CAPACIDADES DE DEPOSIÇÃO PARA RESÍDUOS URBANOS E INDUSTRIAIS

1) Aterros para resíduos não perigosos de origem urbana

Tabela 1.1 – Aterros para resíduos não perigosos de origem urbana

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
REGIÃO NORTE		
VALORMINHO	Valença	36.434
RESULIMA	Viana do Castelo	128.667

BRAVAL	Póvoa de Lanhoso	105.339
Amave	Gonça (Guimarães)	183.916
Lipor	Maia	522.489
Ambisousa	Penafiel	63.854
Ambisousa	Lustosa (Lousada)	60.936
SULDOURO	Gaia	182.485
RESAT	Boticas	39.232
Resíduos do Nordeste, EIM	Mirandela	58.730
REBAT	Celorico de Basto	53.839
RESIDOURO	Lamego	36.312
EMAR – Água e Resíduos de Vila Real, E.M.	Vila Real	20.679
REGIÃO CENTRO		
VALORLIS	Leiria	122.342
ERSUC	Aveiro	189.560
ERSUC	Coimbra	127.866
ERSUC	Figueira da Foz	58.516
ÁGUAS DO ZÊZERE E CÔA/Sector Resíduos	Fundão	77.867
AM Raia-Pinhal	Castelo Branco	42.073
Aterro Sanitário do Planalto Beirão	Tondela	127.750
REGIÃO LISBOA E VALE DO TEJO		
RESIOESTE	Cadaval	197.652
Ecolezíria	Almeirim	63.721
Resitejo	Chamusca	92.514
VALORSUL	Mato da Cruz	547.632
AMARSUL	Palmela	297.668
AMARSUL	Seixal	353.684
REGIÃO ALENTEJO		
Gesamb	Évora	87.414
Ambilital	Santiago do Cacém	64.962
Amcal	Cuba	14.566

VALNOR	Avis	10.262
VALNOR	Abrantes	71.398
RESIALENTEJO	Beja	51.932
REGIÃO ALGARVE		
ALGAR – Aterro do Barlavento Algarvio	Portimão	152.261
ALGAR – Aterro do Sotavento	Loulé	134.634

2) Aterros para resíduos não perigosos de origem industrial

Tabela 1.2 – Aterros para resíduos não perigosos de origem industrial

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
Aterro da RESILEI – Tratamento de Resíduos Industriais, S.A.	Leiria	25.000
RIMA – Resíduos Industriais e Meio Ambiente, S.A.	Lustosa	41.176
Aterro de Resíduos Não Perigosos de Castelo Branco	Castelo Branco	25.000
RIBTEJO – Aterro de Resíduos Não Perigosos da Chamusca	Chamusca	25.000
ProRESI – Aterro de Resíduos Não Perigosos de Alenquer – CME Águas, S.A.	Alenquer	50.000
Aterro do CITRI – Centro Integrado de Tratamento de Resíduos Industriais	Setúbal	60.000
Aterro de Resíduos Não Perigosos de Beja	Beja	16.000
VALOR-RIB – Indústria de Resíduos, Lda.	Vila Nova de Famalicão	125.450

3) Aterros para resíduos não perigosos de estabelecimentos industriais

Tabela 1.3 – Aterros para resíduos não perigosos de estabelecimentos industriais

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
PORTUCEL, Empresa Produtora de Pasta de Papel, S.A.	Viana	-
SOPORCEL	Figueira da Foz	-
PORTUCEL, Empresa Produtora de Pasta de Papel, S.A.	Cacia	-

CELBI – Celulose Beira Industrial, S.A.	Figueira da Foz	-
RENOVA, Fábrica de Papel do Almonda, Lda.	Torres Novas	-
PORTUCEL, Empresa Produtora de Pasta de Papel, S.A.	Setúbal	-
Central Termoelétrica de Sines	Sines	-

4) Aterros para resíduos industriais de sectores específicos

Tabela 1.4 – Aterros para resíduos industriais de sectores específicos

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
EMAFEL, EM – Empresa Pública Municipal de Ambiente de Felgueiras	Felgueiras	6.922

5) Aterros para resíduos inertes destinados à recuperação paisagística de pedreiras

Tabela 1.5 – Aterros para resíduos inertes destinados à recuperação paisagística de pedreiras

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
SOLUSEL, Sociedade Lusitana de Obras e Empreitadas, Lda.	Vila Nova de Gaia	-
Central de Britagem ADIFER, S.A.	Vila Real	-
CIVOPAL – Sociedade de Construções e Obras Públicas Aliança, S.A.	Vila Nova de Gaia	-
Alberto Couto Alves, S.A. – Aterro para resíduos inertes	Fafe	-
J. Batista Carvalho, Lda.	Portunhos	-
Soarvamil – Sociedade de Areias de Vale de Milhaços, Lda.	Corroios	-

6) Aterros para resíduos inertes

Tabela 1.6 – Aterros para resíduos inertes

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
VALNOR – Aterro de Resíduos Inertes	Campo Maior	-
VALNOR – Aterro de Resíduos Inertes	Ponte de Sôr	-

7) Aterros para resíduos perigosos

Tabela 1.7 – Aterros para resíduos perigosos

Designação	Localização	Capacidade (t/ano)
CIRVER – ECODEAL	Chamusca	116.387
CIRVER – SISAV	Chamusca	150.000

1.2.3 PERSPECTIVA FUTURA PARA NOVOS ATERROS E CENTRAIS DE VALORIZAÇÃO

Tabela 1.8 – Número de aterros e centrais de valorização orgânica previstos por regiões

Designação	Localização	Data Prevista
REGIÃO NORTE		
VALORMINHO – Aterro RSU	Vila Nova de Cerveira	2010
RESULIMA – Aterro RSU	Barcelos	-
BRAVAL – Central de Valorização Orgânica	Póvoa de Lanhoso	-
Amave – Aterro RSU	Fafe	2012
Lipor	Laundos	2010
SULDOURO – Central de Valorização Orgânica	Sermonde	2010
RESAT – Central de Valorização Orgânica	Boticas	2011
Resíduos do Nordeste, EIM – Central de Valorização Orgânica	Mirandela	2011

REGIÃO CENTRO		
VALORLIS – Central de Valorização Orgânica	Leiria	2009
ERSUC – Central de Valorização Orgânica + Aterro RSU	Aveiro	-
ERSUC – Central de Valorização Orgânica + Aterro RSU	Coimbra	-
Aterro Sanitário do Planalto Beirão – Central de Valorização Orgânica	Tondela	2009
REGIÃO LISBOA E VALE DO TEJO		
Resitejo – Central de Valorização Orgânica	Chamusca	2010
AMTRES – Central de Valorização Orgânica + Aterro RSU	Mafra	2010
AMARSUL – Central de Valorização Orgânica	Seixal	2010
REGIÃO ALENTEJO		
Gesamb – Central de Valorização Orgânica	Évora	-
Ambilital – Central de Valorização Orgânica	Santiago do Cacém	2010
REGIÃO ALGARVE		
ALGAR – Central de Valorização Orgânica	S. Brás de Alportel	2010

1.3 LEGISLAÇÃO EM VIGOR

A consciencialização da necessidade de preservar a saúde pública, qualidade do meio ambiente e de proteger os solos e recursos hídricos, têm implicado nos últimos anos uma grande revolução na legislação ambiental sobre a gestão de resíduos. Em Portugal têm-se registado progressos consideráveis neste domínio nas últimas décadas, resultantes da implementação e aplicação de instrumentos legais, de planeamento e económico-financeiros.

O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I), aprovado em 1997 e reeditado em 1999, configurou-se como um instrumento de planeamento de referência na área dos resíduos urbanos (RU). Este Plano definiu, designadamente, metas quantificadas, de curto, médio e longo prazo, de redução da produção de RU, reciclagem multimaterial, valorização orgânica, incineração com recuperação de energia e deposição em aterro. O balanço do PERSU I foi, de uma forma global, positivo com o encerramento

das lixeiras, a criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de RSU (sistemas plurimunicipais), a construção de infra-estruturas de valorização e eliminação e a criação de sistemas de recolha selectiva multimaterial. O PERSU forneceu ainda linhas de orientação geral para a criação dos fluxos especiais de gestão, abrindo caminho à criação de legislação específica e à constituição e licenciamento das respectivas entidades gestoras.

Não obstante o considerável nível de estruturação e regulamentação do sector, várias foram as razões que aconselharam uma revisão do PERSU, nomeadamente:

- 1) As evoluções ao nível da política comunitária de resíduos, em particular as decorrentes da Estratégia Temática de Prevenção e Reciclagem de Resíduos e da Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais, emanadas do 6.º Programa Comunitário de Acção em Matéria de Ambiente, bem como a revisão em curso da Directiva n.º 75/442/CE, de 15 de Julho, relativa aos resíduos, entretanto codificada pela Directiva n.º 2006/12/CE, de 5 de Abril;
- 2) O Regime Geral da Gestão dos Resíduos, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, que, para além de determinar a necessidade de um plano específico de gestão de resíduos urbanos, veio introduzir alterações significativas no enquadramento legal do sector, por via da simplificação de procedimentos administrativos de licenciamento, da disponibilização, em suporte electrónico, de um mecanismo uniforme de registo e acesso a dados sobre os resíduos e da constituição um novo regime económico-financeiro da gestão dos resíduos, com o estabelecimento de taxas de gestão de resíduos e a definição do enquadramento e princípios orientadores para a criação de um mercado organizado de resíduos;
- 3) A percepção da necessidade de uma reflexão sobre a estratégia a adoptar tendo em vista o cumprimento dos objectivos comunitários de desvio de resíduos urbanos biodegradáveis de aterro e, por conseguinte, sobre alguns dos princípios consignados na Estratégia Nacional para o Desvio de Resíduos Urbanos Biodegradáveis de Aterro (ENRRUBDA) aprovada em 2003, na sequência da Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição em aterro, transposta pelo Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio;
- 4) A necessidade de assegurar o cumprimento dos objectivos de reciclagem e valorização, decorrentes das Directivas n.º 94/62/CE, de 20 de Dezembro, e 2004/12/CE, de 11 de Fevereiro, relativas à gestão de embalagens e resíduos de

embalagens, transpostas para ordem jurídica interna pelos Decretos-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, 162/2000, de 27 de Julho, e 92/2006, de 25 de Maio;

- 5) A importância de uma política de resíduos sólidos urbanos ajustada aos compromissos de redução das emissões de gases com efeito de estufa assumidos no âmbito do Protocolo de Quioto e concretizadas no Plano Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, de 23 de Agosto;
- 6) A necessidade de articulação com outros documentos de orientação estratégica aprovados pelo Governo que eram relevantes para o enquadramento da política específica para os resíduos sólidos urbanos, nomeadamente a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável, aprovada no Conselho de Ministros de 28 de Dezembro de 2006, a proposta à Assembleia da República do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território, aprovada no mesmo Conselho de Ministros, o Programa Nacional de Acção para o Crescimento e Emprego (Estratégia de Lisboa), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 83/2005, de 20 de Outubro, e o Plano Tecnológico, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 190/2005, de 16 de Dezembro;

E ainda o novo ciclo de fundos comunitários, relativo ao período de 2007-2013, consubstanciado no quadro de referência estratégico nacional

Publicado através da Portaria n.º 187/2007, de 12 de Fevereiro, o PERSU II revê o PERSU I e constitui o novo referencial para o período de 2007 a 2016, apontando a estratégia, definindo as prioridades e estabelecendo as metas para este horizonte em matéria de gestão de RU. Este Plano consubstanciou igualmente a revisão das estratégias consignadas na Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) destinados aos Aterros¹ (ENRRUBDA) (2003) e no Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados² (PIRSUE) (2006).

Na elaboração do PERSU II foi tido em consideração o quadro legal comunitário e nacional descrito em cima, nomeadamente o Regime Geral da Gestão dos Resíduos

¹ Esta Estratégia surgiu como consequência das disposições estabelecidas na Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros, transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio.

² Aprovado pelo Despacho n.º 454/2006, de 5 de Dezembro, publicado no D.R. n.º 6 (II Série), de 9 de Janeiro.

(Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro), que concretiza disposições em matéria de princípios, responsabilidade, planeamento, licenciamento e gestão de informação sobre resíduos. Com este novo regime surgiu também o Sistema Integrado de Registo Electrónico de Resíduos (SIRER) que, com a integração dos ex-Institutos dos Resíduos e do Ambiente na nova estrutura organizacional da Agência Portuguesa do Ambiente originou o agora denominado SIRAPA – Sistema Integrado de Registo da Agência Portuguesa do Ambiente.

Um outro elemento essencial introduzido por este diploma é o novo regime económico e financeiro de gestão de resíduos, destacando-se neste contexto, a introdução da taxa de gestão de resíduos – um instrumento fiscal que tem como principal objectivo a penalização das operações de gestão de resíduos menos nobres à luz da hierarquia anteriormente referida, designadamente, a deposição em aterro, e, por conseguinte, o incentivo às operações de valorização e reciclagem.

No que diz respeito aos resíduos industriais, a nível nacional, a gestão adequada de resíduos foi entendida como um desafio inadiável, pelo que foram definidas regras relativas à sua prossecução através de vários diplomas legais, nomeadamente do Decreto-Lei n.º 239/1997, de 9 de Setembro, o qual estabelece, no seu artigo 5.º, como meio de fomentar uma eficaz gestão de resíduos, a elaboração de um plano nacional de gestão de resíduos apoiado por planos estratégicos sectoriais.

A Resolução do Conselho de Ministros n.º 98/1997, de 25 de Junho, indica como forma eficiente de gestão dos resíduos industriais a sua separação dos restantes tipos, nomeadamente dos resíduos urbanos, e a tipificação dos resíduos banais e perigosos, preconizando diferentes soluções em função da especificidade de cada tipo de resíduos.

A Assembleia da República revelou idêntica preocupação em relação ao assunto e decretou, através da Lei n.º 20/1999, de 15 de Abril, que o Governo apresentasse, até ao final da presente legislatura, um plano estratégico de gestão dos resíduos industriais e que o mesmo fosse aprovado por decreto-lei.

O Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Industriais (PESGRI 1999), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de Dezembro, constituiu um importante instrumento de planeamento que se destina a fornecer, aos responsáveis políticos e da Administração Pública e a todos os agentes da indústria nacional, um conjunto fundamentado de orientações e recomendações tendentes a apoiar decisões em matéria de recolha e tratamento de resíduos industriais.

Este Plano Estratégico integra a inventariação e a caracterização dos resíduos industriais produzidos ou existentes em Portugal e assume como objectivos prioritários a sua redução, reutilização e reciclagem.

Entretanto, e como consequência natural da dinâmica do processo de planeamento e à luz dos conhecimentos mais recentes sobre a gestão dos resíduos industriais, nomeadamente no que diz respeito à inventariação dos resíduos produzidos e armazenados, assim como dos melhores tipos de tratamento para cada resíduo industrial, na óptica do ambiente e da saúde pública, entendeu-se proceder à revisão do PESGRI 99. Deste modo, dando-se simultaneamente cumprimento, ao preceituado no artigo 3.º do Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de Dezembro, e no n.º 3 do artigo 6.º da Lei n.º 20/99, de 15 de Abril, na redacção dada pela Lei n.º 22/2000, de 10 de Agosto, esta revisão veio originar o PESGRI 2001, que contou com actualizações nos campos acima referidos.

No contexto do PESGRI foi elaborado o Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI), a implementar no período de 2000 a 2015, dando prioridade à redução da perigosidade e quantidade dos resíduos industriais. Neste âmbito, foi ainda aprovado o Projecto “PRERESI – Prevenção de Resíduos Industriais”, com o apoio do Programa PRIME, envolvendo um conjunto de Associações Empresariais que representam os sectores de actividade com maior potencial na prevenção de resíduos, bem como entidades ao nível científico e tecnológico especialmente vocacionadas para os sectores em causa.

Particularmente para os resíduos industriais perigosos, a linha de actuação a nível nacional tem sido centrada na prevenção da produção, na promoção e desenvolvimento das opções de reutilização e reciclagem, garantindo um nível elevado de protecção da saúde e do ambiente, na promoção da eliminação do passivo ambiental e no desenvolvimento da auto-suficiência do País em matéria de gestão de resíduos. A estratégia nesta área passa pela divulgação das Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD) e pela criação de um Mercado Organizado de Resíduos.

A aplicação dos princípios supra-referidos permitirá a criação de um sistema integrado de tratamento de resíduos industriais, que contemple os seguintes componentes:

- 1) Inventariação permanente, acompanhamento e controlo do movimento dos resíduos;
- 2) Redução dos resíduos que necessitam de tratamento e destino final;

- 3) Constituição de uma bolsa de resíduos;
- 4) Construção de Centros Integrados de Recuperação, Valorização e Eliminação de Resíduos Perigosos (CIRVER).

Em 2006 foram licenciados dois CIRVER por procedimento concursal estabelecido e regulado no Decreto-Lei n.º 3/2004, de 3 de Janeiro, localizados no concelho da Chamusca, distrito de Santarém. O início da exploração destes Centros deu-se em 2008 tendo sido a sua regulamentação aprovada pela Portaria n.º 172-2009 de 17 de Fevereiro.

Mais recentemente, foi aprovada a Portaria 851/2009, de 7 de Agosto, que estabelece as normas técnicas relativas à caracterização de resíduos urbanos, designadamente a identificação e quantificação dos resíduos correspondentes à fracção caracterizada como reciclável e o Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, que estabelece o novo regime jurídico da deposição de resíduos em aterro e os requisitos gerais a observar na concepção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, incluindo as características técnicas específicas para cada classe de aterros.

Este novo diploma surge devido a uma necessidade de continuidade da política de promoção da reciclagem e valorização, tendo em vista o cumprimento da Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos, que fixa metas de reciclagem particularmente exigentes, designadamente para resíduos urbanos e de construção e demolição e também devido à identificação de uma necessidade de garantir a total conformidade da legislação nacional com a Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, alterada pelo Regulamento (CE) n.º 1882/2003, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 29 de Setembro, designadamente no que se refere ao âmbito de aplicação, aos conceitos, ao conteúdo das licenças, às obrigações de reporte e registo, ao prazo de adaptação aos requisitos da directiva e às medidas de redução dos riscos para o ambiente.

Todas estas circunstâncias levaram à revisão do quadro legal aplicável à deposição de resíduos em aterro, numa lógica, por um lado, de reforço das medidas de promoção da reciclagem e da valorização e de adaptação da operação de deposição de resíduos em aterro a elevados padrões de exigência ambiental e, por outro, de harmonização legislativa e de simplificação e economia processual.

Com este novo diploma é reforçada a aplicação do princípio da hierarquia de gestão de resíduos, prevendo a minimização da deposição em aterro de resíduos que tenham

potencial de reciclagem e valorização, através de restrições à admissão de resíduos a incluir na respectiva licença em prazo pré-determinado.

No que especificamente concerne à valorização de resíduos urbanos biodegradáveis (pese embora o progressivo e consistente incremento da capacidade nacional instalada ao nível de unidades de tratamento mecânico e ou biológico) a necessidade de introdução de ajustamentos físicos e financeiros a diversos projectos de investimento imprescindíveis para o cumprimento das metas de desvio de aterro estabelecidas no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, veio aconselhar a respectiva recalendarização, no uso da faculdade derogatória consagrada na Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, a exemplo do adoptado noutros Estados membros.

Ainda na perspectiva da maximização da reciclagem e da valorização, cria-se um enquadramento para a recuperação dos resíduos potencialmente valorizáveis encaminhados para aterro, admitindo-se a deposição temporária em célula específica desde que devidamente justificada e desde que identificado o local de destino.

Numa lógica de desconcentração, atribui-se às Comissões de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) competências de licenciamento para todos os tipos de aterros, com excepção dos abrangidos pelo anexo I do regime jurídico da avaliação de impacte ambiental, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio (instalações destinadas ao aterro de resíduos perigosos e a operações de eliminação de resíduos não perigosos – Aterros 150.000 t/ano) e dos associados a actividades industriais licenciadas por outras entidades da administração.

Racionalizam-se procedimentos, passando a ser necessária, para efeitos de início do procedimento de licenciamento, parecer relativo à compatibilidade da localização emitida pela CCDR territorialmente competente, que, no futuro próximo tenderá a ser efectuado através de sistemas de informação que permitam ao requerente, conhecer da compatibilidade da localização, através de um simulador on-line. São ainda clarificadas as normas relativas à consulta de entidades no âmbito do procedimento de licenciamento. Por outro lado, e na mesma lógica de simplificação, deixa de haver duas fases de licenciamento distintas – que implicavam a emissão de uma licença de instalação e de uma licença de exploração do aterro – passando a haver a emissão de uma única licença, emitida no âmbito do procedimento de licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterro estabelecido no capítulo IV do presente decreto-lei, a qual habilita o operador à construção e exploração do aterro.

Procede-se a uma articulação deste regime jurídico com os referentes à Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) e à Prevenção e Controlo Integrados da Poluição (PCIP), prevendo-se que, no caso de aterros sujeitos a este último regime, o pedido de licença para a operação de deposição de resíduos em aterro passe a ser efectuado através do formulário para o pedido de licença ambiental.

São definidas as normas relativas à aplicação do regime jurídico ora aprovado a aterros já licenciados ou em funcionamento, bem como as relativas ao dever de registo e informação sobre as licenças emitidas.

No que respeita às regras de admissão de resíduos em aterro, as mesmas são ajustadas tendo em consideração a Decisão n.º 2003/33/CE, do Conselho, de 19 de Dezembro de 2002.

Finalmente, actualiza-se o regime contra-ordenacional à luz do disposto na lei-quadro das contra-ordenações ambientais, aprovada pela Lei n.º 50/2006, de 29 de Agosto.

1.4 LEGISLAÇÃO RELATIVA A ATERROS

1.4.1 LICENCIAMENTO DA INSTALAÇÃO, CONSTRUÇÃO E EXPLORAÇÃO

O Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, veio definir novas regras para o licenciamento das operações de gestão de resíduos revogando o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro e a Portaria n.º 961/98, de 10 de Novembro. O mais recente Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, vem, como já foi referido anteriormente, simplificar ainda mais o processo de licenciamento passando a haver a emissão de uma única licença emitida no âmbito do procedimento de licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterro, a qual habilita o operador à construção e exploração do aterro.

Pretendeu-se com a publicação deste Decreto-Lei reformar o mecanismo da autorização prévia de modo a aproximá-lo dos modelos em vigor nos ordenamentos jurídicos dos demais parceiros comunitários, sujeitando as operações de gestão de resíduos a um procedimento administrativo célere de controlo prévio, que se conclui com a emissão de uma licença, e a procedimentos administrativos que assegurem uma efectiva monitorização da actividade desenvolvida após esse licenciamento. Neste diploma introduziram-se mecanismos de adaptação das licenças às inovações tecnológicas que constantemente surgem neste sector e de resposta a efeitos negativos para o ambiente, que não tenham sido previstos na fase de licenciamento, introduzindo-se, igualmente,

procedimentos que visam acompanhar as vicissitudes da actividade de gestão de resíduos, como sejam as da transmissão, alteração e renovação das licenças.

O regime de licenciamento agora instituído não perde, também, de vista a necessidade ponderosa de simplificar as relações administrativas que o Estado estabelece com o particular. Assim, foram encurtados os prazos previstos para o procedimento geral de licenciamento, tendo sido igualmente previsto a aplicação de um regime de licenciamento simplificado, que permite a emissão de uma licença num prazo máximo de 20 dias.

O licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterro abrange as fases de concepção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento do aterro.

Qualquer modificação ou ampliação de um aterro que seja susceptível de produzir efeitos nocivos e significativos nas pessoas ou no ambiente ou cuja ampliação, em si mesma, corresponda aos limiares estabelecidos para aterros no anexo I do regime de prevenção e controlo integrados da poluição, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto, determina um novo procedimento de licenciamento nos termos dos artigos 17.º a 27.º.

O requerente do pedido de licença para a operação de deposição de resíduos em aterro deve observar, cumulativamente, os requisitos dispostos no artigo 13.º do presente diploma legal referente às qualidades técnicas, económicas e legais do mesmo.

O artigo 14.º do mesmo Decreto-Lei estipula que o licenciamento das operações de gestão de resíduos compete:

- 1) A Agência Portuguesa do Ambiente (APA), no caso de aterros abrangidos pelo anexo I do regime jurídico da avaliação de impacte ambiental, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio;
- 2) As entidades da administração central consideradas entidades coordenadoras no âmbito do artigo 9.º do regime de exercício da actividade industrial, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 209/2008, de 29 de Outubro, no caso de aterro tecnicamente associado a estabelecimento industrial sujeito a esse regime e que:
 - a) Se encontre localizado dentro do perímetro do estabelecimento industrial em causa;
 - b) Se destine exclusivamente à deposição de resíduos produzidos nesse estabelecimento industrial e nos demais estabelecimentos pertencentes ao mesmo produtor.

3) As CCDR, nos restantes casos.

O pedido de licença da operação de deposição de resíduos em aterro é apresentado pelo requerente à entidade licenciadora, instruído com todos os elementos referidos no artigo 17.º do Decreto-Lei em causa (documentos de identificação do requerente; comprovativos dos requisitos exigidos; projecto de execução e de exploração do aterro; cópia da Declaração de Impacte Ambiental (DIA), favorável ou favorável condicionada, ou comprovativo da entrega do estudo de impacte ambiental junto da Autoridade de Avaliação de Impacte Ambiental competente; cópia do parecer relativo à compatibilidade da localização do aterro com os instrumentos de gestão territorial; garantias financeiras). No caso de aterros sujeitos ao regime de prevenção e controlo integrados da poluição, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto, o respectivo pedido de licença é apresentado através do formulário para o pedido de licença ambiental, designado por formulário PCIP.

Um aterro sujeito a AIA, nos termos do regime jurídico de AIA, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio, compreende as seguintes operações:

- 1) Instalações de eliminação de resíduos perigosos que realizem a operação D1 (deposição em aterro), com uma capacidade superior a 10 t/dia;
- 2) Aterros de resíduos urbanos ou de aterros de resíduos não perigosos, com excepção dos aterros de resíduos inertes, que recebam mais de 10 t/dia ou com uma capacidade total superior a 25.000 t.

Para estes o pedido de licença para a operação de deposição de resíduos é entregue após:

- 1) A emissão de DIA favorável ou condicionalmente favorável, no caso do procedimento de AIA decorrer em fase de projecto de execução;
- 2) A emissão de parecer relativo à conformidade do projecto de execução com a DIA, no caso do procedimento de AIA decorrer em fase de estudo prévio;
- 3) A emissão de declaração relativa à dispensa do procedimento de AIA, ou
- 4) O decurso do prazo necessário para deferimento tácito nos termos previstos no regime jurídico de AIA, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio.

Por opção do operador, o procedimento de licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterro pode decorrer em simultâneo com o procedimento de AIA desde que este seja relativo a um projecto de execução.

No caso referido no número anterior o procedimento de licenciamento da operação de deposição de resíduos em aterro inicia-se logo que seja emitida a declaração de conformidade do estudo de impacte ambiental, nos termos do n.º 4 do artigo 13.º do regime jurídico da avaliação de impacte ambiental, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio.

No prazo de cinco dias após a regular instrução do pedido de licença nos termos do artigo anterior, a entidade licenciadora promove a consulta das entidades públicas que, nos termos da lei, devam pronunciar-se sobre o pedido de licença, nomeadamente a Administração de Região Hidrográfica (ARH) e a CCDR territorialmente competentes, a consulta do delegado de saúde regional e da Autoridade para as Condições de Trabalho que, num prazo de 20 dias comunicam o seu parecer à entidade licenciadora.

Após 30 dias do termo do prazo estabelecido anteriormente a entidade licenciadora comunica ao requerente a decisão relativa à aprovação do projecto de execução e de exploração do aterro. Esta decisão é válida por um período de 2 anos e pode ser prorrogável a pedido do requerente, o qual deve ser apresentado à entidade licenciadora nos 30 dias anteriores ao termo do referido período e com fundamento em motivo que não lhe seja imputável.

Concluída a fase de construção, o requerente solicita a realização de uma vistoria com uma antecedência mínima de 40 dias da data prevista para o início da realização da operação de gestão de resíduos e, após todas as condições impostas pela entidade licenciadora impostas e pelas demais entidades consultadas, estarem devidamente cumpridas, é então realizada a vistoria e diferida a decisão final (no prazo máximo de 10 dias após a vistoria) que estabelece os termos e as condições de que depende a realização da operação de gestão de resíduos licenciada.

As operações que estão sujeitas a um procedimento de licenciamento simplificado são, conforme consta do artigo 32.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, as operações de:

- 1) Gestão de resíduos relativas a situações pontuais, dotadas de carácter não permanente ou em que os resíduos não resultem da normal actividade produtiva;
- 2) Armazenagem de resíduos, quando efectuadas no próprio local de produção, no respeito pelas especificações técnicas aplicáveis e por período superior a um ano;

- 3) Armazenagem de resíduos, quando efectuadas em local análogo ao local de produção, pertencente à mesma entidade, no respeito pelas especificações técnicas aplicáveis e por período não superior a um ano;
- 4) Armazenagem e triagem de resíduos em instalações que constituam centros de recepção integrados em sistemas de gestão de fluxos específicos;
- 5) Armazenagem, triagem e tratamento mecânico de resíduos não perigosos;
- 6) Valorização de resíduos, realizadas em instalações experimentais ou a título experimental destinadas a fins de investigação, desenvolvimento e ensaio de medidas de aperfeiçoamento dos processos de gestão de resíduos;
- 7) Valorização não energética de resíduos não perigosos, quando efectuadas no próprio local de produção;
- 8) Valorização interna não energética de óleos usados;
- 9) Valorização de resíduos inertes, de betão e de betuminosos;
- 10) Valorização de resíduos tendo em vista a recuperação de metais preciosos;
- 11) Recuperação de solventes quando efectuada no próprio local de produção;
- 12) Co-incineração de resíduos combustíveis não perigosos resultantes do tratamento mecânico de resíduos.

Foi, ainda, consignada a possibilidade de dispensa de licenciamento para determinadas operações quando sejam definidas normas específicas para o exercício das mesmas, ficando neste caso sujeitas apenas a uma comunicação prévia. Esta possibilidade está, no entanto, ainda dependente, conforme definido no artigo 25.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, da publicação de planos específicos de gestão e/ou de Portarias conjuntas que definam, para cada tipo de resíduo, as normas específicas para cada tipo de operação de gestão, fixando os tipos e as quantidades de resíduos a eliminar ou valorizar.

De modo a evitar uma oneração desnecessária do particular com o esforço de se sujeitar a procedimentos administrativos diferentes com vista a exercer uma mesma actividade, o licenciamento ora vigente articula-se numa relação de complementaridade e alternatividade com os regimes de licenciamento ambiental e de licenciamento industrial já em vigor.

Assim, as operações de gestão de resíduos sujeitas ao regime de licenciamento ambiental (PCIP) não ficam sujeitas à emissão de qualquer outra licença adicional, sendo, conforme consta do artigo 41.º do Decreto-Lei n.º 178/2006, licenciadas nos termos da legislação de PCIP.

De forma equivalente, o licenciamento de uma operação de gestão de resíduos sujeita a regime de licenciamento industrial, é substituído, conforme definido no artigo 42.º do referido Decreto-Lei, por um parecer vinculativo emitido no âmbito desse procedimento.

Pretende-se com este novo regime introduzir, portanto, um acréscimo de eficiência e de eficácia na prossecução dos seus objectivos, sem prejuízo da imperativa defesa do interesse público em causa.

Operações de gestão não sujeitas ao regime de licenciamento previsto no Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro.

Não estão sujeitas a licenciamento nos termos do previsto neste diploma as operações de:

- 1) Recolha e de transporte de resíduos;
- 2) Armazenagem de resíduos que seja efectuada no próprio local de produção por períodos não superiores a um ano;
- 3) Valorização energética de biomassa (tal como definida na alínea c) do seu artigo 3.º).

De salientar que quer a biomassa agrícola quer a biomassa vegetal, tal como definidas respectivamente nas alíneas d) e e) do artigo 3.º do Decreto-Lei em referência, estão excluídas do âmbito de aplicação deste diploma, ao contrário do que acontece com a restante biomassa, que se encontra sujeita às disposições deste diploma, não obstante não se encontrar sujeita ao licenciamento previsto neste diploma, como atrás referido, nem às regras de transporte da Portaria n.º 335/97.

O facto de a operação de valorização energética de biomassa deixar de ter enquadramento em termos de licenciamento ao abrigo do Decreto-Lei n.º 178/2006, não obsta a que deva ser dado cumprimento à demais legislação ambiental, bem como outra que lhe seja aplicável.

Não se encontram igualmente sujeitas ao licenciamento previsto no Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro, as operações de:

- 1) Incineração e co-incineração de resíduos, que se encontram sujeitas às disposições do Decreto-Lei n.º 85/2005, de 28 de Abril, que estabelece o regime a que fica sujeito a incineração e co-incineração de resíduos, com excepção da co-incineração de resíduos combustíveis não perigosos resultantes do tratamento mecânico de resíduos que, não obstante ter de obedecer às disposições deste diploma, o seu licenciamento é efectuado ao abrigo do disposto na alínea m) do artigo 32.º do Decreto-Lei n.º 178/2006 – licenciamento simplificado;
- 2) Deposição em aterro, que se encontram sujeitas ao disposto no Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, que regula a instalação, a exploração, o encerramento e a manutenção pós-encerramento de aterros destinados a resíduos, de forma a evitar ou reduzir tanto quanto possível os efeitos negativos sobre o ambiente, bem como quaisquer riscos para a saúde humana;
- 3) Valorização agrícola de lamas, a qual se encontra sujeita às disposições do Decreto-Lei n.º 118/2006, de 21 de Junho, que estabelece o regime a que obedece a utilização de lamas de depuração em solos agrícolas.

Para além do exposto deverá, igualmente ser tomada em atenção a legislação referente a Avaliação de Impacte Ambiental (Decreto-Lei n.º 69/2000, de 3 de Maio, na redacção que lhe foi dada pelos Decretos-Lei n.º 74/2001, de 26 de Fevereiro, e 69/2003, de 10 de Abril, pela Lei n.º 12/2004, de 30 de Março, e pelo Decreto-Lei n.º 197/2005, de 8 de Novembro), bem como à legislação relativa a Licenciamento Ambiental (Decreto-Lei n.º 173-2008, de 26 de Agosto que revoga o Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto).

1.4.2 PREVENÇÃO E CONTROLO INTEGRADOS DA POLUIÇÃO (PCIP)

No quadro da política comunitária do ambiente e, designadamente na linha do Quinto Programa Comunitário de Acção em Matéria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, a publicação da Directiva n.º 96/61/CE, do Conselho, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição, constitui a concretização de uma nova tendência na estratégia de abordagem do combate à poluição.

A referida Directiva n.º 96/61/CE, reconhecendo que a existência de abordagens diferentes no controlo da poluição do ar, das águas e do solo pode favorecer a transferência dos problemas de poluição entre os meios físicos, em vez de favorecer a protecção do ambiente no seu todo, assume, como escopo essencial, o objectivo de uma abordagem integrada do controlo da poluição, assente prioritariamente na prevenção,

sempre que possível, das emissões para o ar, a água e o solo, tendo em conta a gestão dos resíduos, ou na correspondente minimização dessas emissões, como meio de alcançar um nível elevado de protecção do ambiente no seu todo.

O Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/61/CE, tendo por objectivo a prevenção e o controlo integrados da poluição proveniente de certas actividades e o estabelecimento de medidas destinadas a evitar ou, quando tal não for possível, a reduzir as emissões dessas actividades para o ar, a água ou o solo, a prevenção e controlo do ruído e a produção de resíduos, tendo em vista alcançar um nível elevado de protecção do ambiente no seu todo.

Da experiência colhida nos oito anos de vigência do Decreto-Lei 194/2000, resultou a necessidade de se proceder à sua actualização, de forma a adequar e tornar mais célere o procedimento de licença ambiental nele previsto, harmonizando-o com outros regimes jurídicos que prevêm, igualmente, procedimentos de licenciamento (designadamente o regime de exercício da actividade industrial).

Assim, o Decreto-Lei n.º 173/2008, de 26 de Agosto, revoga o Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, estabelecendo o novo regime jurídico relativo à prevenção e controlo integrados da poluição, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2008/1/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 15 de Janeiro.

1.4.3 CLASSES DE ATERROS

De acordo com o Decreto-Lei 183/2009, de 10 de Agosto, que regula a instalação, exploração, o encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados a resíduos, no Artigo 10, os aterros são classificados segundo a sua classe e dividem-se em aterros (1) para resíduos inertes, (2) para resíduos não perigosos e (3) para resíduos perigosos.

Assim, na classe 2 encontram-se os aterros de Resíduos Industriais Banais (RIB) e os aterros de RU e na classe 3 encontram-se os aterros de Resíduos Industriais Perigosos (RIP).

Para cada classe os sistemas de impermeabilização adoptados actualmente têm particularidades inerentes, descritas no decorrer deste trabalho.

1.5 O USO DE GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS CONTROLADOS

Os aterros constituem uma das formas possíveis de assegurar o acondicionamento final dos resíduos produzidos pela sociedade actual. Têm vindo a generalizar-se em Portugal porque representam uma alternativa de custos relativamente aceitáveis quando comparados com outras opções (incineração, compostagem). Importa ter em consideração, que mesmo o recurso a incineradores ou a centrais de compostagem pressupõe a existência de aterros de resíduos (aterros de cinzas ou de material não adequado para aproveitamento na compostagem).

Na impossibilidade de instalar os aterros de resíduos apenas em locais que reúnam as características ideais de um ponto de vista geológico e geotécnico, actualmente projectam-se sistemas de confinamento para garantir que os mesmos não sejam uma fonte contaminação, em particular para as águas subterrâneas.

A matéria orgânica ou outra que se encontra nos resíduos sólidos sofre alterações físico-químicas devido a acções internas (fenómenos de maturação dos resíduos que implicam degradação biológica anaeróbia dos resíduos biodegradáveis responsável pelos maus cheiros) e externas (por exemplo, água das chuvas, águas de circulação sub-superficial, etc.), o que provoca a formação de efluentes líquidos ou lixiviados e efluentes gasosos (biogás).

Os gases produzidos no aterro podem ser extraídos por bombagem através de uma rede de tubos verticais, crepinados na zona das células, que se prolongam até à superfície, conduzindo aqueles efluentes para a atmosfera (Boltze & De Freitas, 1994).

Os lixiviados representam talvez o principal problema ambiental dado o potencial de contaminação que apresentam para os terrenos e os aquíferos. São constituídos por água, muito rica em sais (essencialmente cloretos e sulfatos) e metais pesados, com matéria orgânica proveniente da massa de resíduos mais facilmente putrescível, misturada com ácidos inorgânicos de alta agressividade e corrosibilidade. Por essa razão, os lixiviados devem ser recolhidos e enviados para uma estação de tratamento adequada e dimensionada para os caudais previsíveis.

Nesse sentido, nos aterros, os fundos das células de resíduos apresentam uma camada drenante, constituída geralmente por materiais granulares, e subjacente a ela existe uma rede de colectores judiciosamente colocados e crepinados na zona das células que vão recolher os lixiviados e os vão conduzir, geralmente por gravidade, para as estações de

tratamento ou para tanques de recolha intermédios; a nível inferior e em contacto com o terreno de fundação existe uma barreira impermeável, constituída por solo argiloso e/ou por mantas geosintéticas (geomembranas ou geocompósitos) e dispostas preferencialmente em várias camadas de impermeabilização (*multiple liner*) (Paulino Pereira, 1997).

Um dimensionamento incorrecto deste sistema de protecção, a sua construção deficiente, o emprego de materiais menos adequados ou de fraca durabilidade, ou a ocorrência de fenómenos externos que possam danificar as barreiras impermeabilizantes e drenantes pode provocar um efeito desastroso, ao possibilitar a percolação dos lixiviados para os terrenos de fundação, com as consequentes contaminações de solos e de aquíferos.

Embora actualmente o principal método de gestão de resíduos não seja a deposição final em aterro, pois as tecnologias mais recentes enfatizam sobretudo a redução na origem e reciclagem dos resíduos, importa referir que estes processos não eliminam totalmente a produção de resíduos e muitas vezes as próprias tecnologias de tratamento são também elas produtoras de resíduos. Por isso os aterros de resíduos continuam e continuarão a ser num futuro próximo uma componente necessária dos sistemas de gestão de resíduos.

Perante pressões ambientais crescentes dos média e da legislação, a concepção e construção de aterros de resíduos tem evoluído significativamente nos últimos 10 anos, exigindo-se cada vez mais a optimização das técnicas de projecto e construção, visando conciliar os aspectos geotécnicos e ambientais envolvidos.

Os geossintéticos pela sua natureza, versatilidade de funções e facilidade de aplicação, contribuíram decisivamente para o desenvolvimento de novas metodologias, que possibilitaram o cumprimento das actuais exigências legislativas, relativamente à deposição de resíduos em aterro.

Nos sistemas de confinamento, a utilização de geossintéticos é actualmente uma prática corrente e indispensável. Tal facto deve-se, sobretudo, às vantagens que apresentam comparativamente aos materiais tradicionais (tais como argilas e similares), nomeadamente permitem aumentar a capacidade de armazenamento dos aterros (ocupam menor espaço), são mais homogéneos e oferecem facilidade de instalação, principalmente em taludes muito inclinados (Lopes, 1999).

1.6 OBJECTIVOS E METODOLOGIA DESTE TRABALHO

O objectivo deste trabalho é o de descrever as tecnologias actualmente utilizadas para proceder à impermeabilização dos aterros. Neste âmbito foram considerados também os seguintes objectivos específicos:

- Enquadramento legal e ambiental.
- Descrição do estado da arte e as suas aplicações
- Descrição das propriedades e características técnicas e funcionais dos geossintéticos utilizados na impermeabilização de aterros.
- Descrição das diferentes tecnologias de aplicação de geossintéticos em impermeabilizações e selagens de aterros.
- Casos de estudo. Aplicações
- Modelo operacional de acompanhamento e direcção técnica de obras.

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho assenta na experiência do autor ao nível da execução técnica de aplicação de geossintéticos em aterros e as melhores tecnologias disponíveis actualmente para permitir que estes sistemas sejam seguros e fiáveis.

2 TECNOLOGIAS DE ATERRO

O projecto de instalação de um aterro de resíduos deve obedecer a vários requisitos técnicos, evidenciados no Decreto-Lei n.º 183/2009, de 10 de Agosto, que são válidos para todas as diferentes classes de aterros previstas na referida legislação.

2.1 LOCALIZAÇÃO

A localização de um aterro deve ter em consideração os seguintes aspectos:

- 1) A distância do perímetro do local relativamente às áreas residenciais e recreativas, cursos de água, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas;
- 2) A existência na zona de águas subterrâneas ou costeiras, ou de áreas protegidas;
- 3) As condições geológicas e hidrogeológicas locais e da zona envolvente;
- 4) Os riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou de avalanches na zona;
- 5) A protecção do património natural e cultural da zona.

A sua instalação só é autorizada se, face às características do local, no que se refere aos aspectos acima mencionados, e às medidas correctivas a implementar, não acarretar qualquer risco grave para o ambiente e para a saúde pública.

2.2 PROJECTO DE EXECUÇÃO E DE EXPLORAÇÃO

O projecto de execução e de exploração do aterro deve conter:

Peças escritas:

- 1) Localização da instalação;
- 2) Descrição do local, incluindo as suas características geológicas, geotécnicas e hidrogeológicas;
- 3) Tipos e previsão da quantidade total de resíduos a depositar;
- 4) Área e volume a ocupar com os resíduos a depositar;
- 5) Sistema de impermeabilização do fundo e taludes das células a construir, incluindo o respectivo dimensionamento;

- 6) Sistema de drenagem das águas pluviais e lixiviados, incluindo o respectivo dimensionamento;
- 7) Sistema de drenagem e tratamento de biogás, se aplicável;
- 8) Sistema de tratamento de lixiviados, incluindo a previsão da quantidade e qualidade dos mesmos e o respectivo dimensionamento;
- 9) Descrição das instalações, infra-estruturas e obras complementares;
- 10) Indicação do número de trabalhadores previsto e do regime de laboração;
- 11) Plano de exploração do aterro, incluindo esquema de enchimento, selagens intermédias e final e cálculo de estabilidade dos taludes;
- 12) Plano de monitorização durante a exploração e após encerramento;
- 13) Medidas específicas respeitantes aos riscos especiais para a segurança de populações e trabalhadores do aterro.

Peças desenhadas:

- 1) Planta de localização do aterro (escala 1:25 000);
- 2) Levantamento topográfico do local de implantação do aterro e vias de acesso externas (escala 1:1000);
- 3) Planta geral do aterro com implantação das células de deposição de resíduos e das instalações complementares e localização de pontos de descarga de efluentes líquidos e gasosos;
- 4) Planta e perfis de escavação das células de resíduos;
- 5) Planta e perfis de enchimento das células de resíduos;
- 6) Pormenores da estratigrafia de impermeabilização e selagem das células de resíduos.

2.3 CONTROLO DE EMISSÕES

A concepção de um aterro deve garantir as condições necessárias para evitar a poluição do ar, do solo, das águas subterrâneas e das águas superficiais.

Os aterros, em função da correspondente classe, devem obedecer aos requisitos mínimos apresentados na tabela seguinte.

Tabela 2.1 – Requisitos mínimos a que os aterros, em função da correspondente classe, devem obedecer (Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto).

Classe do aterro	Resíduos inertes	Resíduos não perigosos	Resíduos perigosos
Sistema de protecção ambiental passiva:			
Barreira de segurança passiva	Sim	Sim	Sim.
Sistema de protecção ambiental activa:			
Barreira de impermeabilização artificial		Sim	Sim.
Sistema de drenagem de águas pluviais		Sim	Sim.
Sistema de drenagem e recolha de lixiviados		Sim	Sim.
Sistema de drenagem e tratamento de biogás		(*)	(*)
Sistema de encerramento:			
Camada de drenagem de gases		(*)	(*)
Barreira de impermeabilização artificial			Sim.
Camada mineral impermeável		Sim	Sim.
Camada de drenagem > 0,5 m		Sim	Sim.
Cobertura final com material terroso > 1 m	Sim	Sim	Sim.
Instalações e infra-estruturas de apoio:			
Vedação	Sim	Sim	Sim.
Portão	Sim	Sim	Sim.
Vias de circulação	Sim	Sim	Sim.
Queimador de biogás		(*)	(*)

* – A definir em função do tipo de resíduos admitidos no aterro.

2.3.1 SISTEMA DE PROTECÇÃO AMBIENTAL PASSIVA

A camada de solo subjacente ao aterro deve constituir uma barreira de segurança passiva durante a fase de exploração e até completa estabilização dos resíduos devendo garantir, tanto quanto possível, a prevenção da poluição dos solos, das águas subterrâneas e de superfície pelos resíduos e lixiviados. A barreira de segurança passiva deve ser constituída por uma formação geológica de baixa permeabilidade e espessura adequada, de acordo com as especificações a seguir apresentadas.

- 1) A barreira geológica é determinada pelas condições geológicas e hidrogeológicas subjacentes e adjacentes ao local de implantação do aterro, das quais resulte um efeito atenuador suficiente para impedir qualquer potencial risco para o solo de fundação e as águas subterrâneas;

- 2) A base e os taludes de confinamento do aterro devem consistir numa camada mineral natural que satisfaça as condições de condutividade hidráulica e espessura de efeito combinado, em termos de protecção do solo e das águas subterrâneas e de superfície, pelo menos equivalente à que resulta das seguintes condições:

Tabela 2.2 – Valores do coeficiente de permeabilidade para as diferentes classes de aterros (Decreto-Lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto).

Classe do aterro	Resíduos inertes	Resíduos não perigosos	Resíduos perigosos
Coeficiente de permeabilidade (K, m/s)	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Espessura (m)	≥ 1	≥ 1	≥ 5

No caso de a barreira geológica não oferecer naturalmente as condições atrás descritas, deve a mesma ser complementada artificialmente e reforçada por outros meios que assegurem uma protecção equivalente. As barreiras artificialmente criadas não poderão ser de espessura inferior a 0,5 m.

2.3.2 SISTEMA DE PROTECÇÃO AMBIENTAL ACTIVA

Para além do sistema de protecção ambiental passiva descrito atrás, os aterros destinados a resíduos perigosos e não perigosos, exceptuando os aterros destinados a resíduos inertes, devem ser providos de um sistema de protecção ambiental activa em todo o solo de fundações e taludes, constituída por geossintéticos, convenientemente dimensionados para resistência às solicitações mecânicas mais desfavoráveis, ao punçoamento, rasgamento e tracção, e que deverá assegurar as seguintes funções:

- 1) Impedir a infiltração das águas de precipitação pela base e taludes de confinamento do aterro;
- 2) Evitar a infiltração de águas superficiais e ou subterrâneas nos resíduos depositados;
- 3) Captar águas contaminadas e lixiviados, garantindo que a acumulação de lixiviados no fundo do aterro se mantenha a um nível mínimo;

- 4) Escoar para o sistema de tratamento as águas contaminadas e os lixiviados captados do aterro segundo as normas exigidas para a sua descarga;
- 5) Captar, tratar e, se possível, valorizar o biogás produzido.

O sistema de protecção ambiental activa deve ser constituído por:

- 1) Uma barreira de impermeabilização artificial (constituída por uma geomembrana ou dispositivo equivalente);
- 2) Um sistema de drenagem de águas pluviais (sistema separativo na base do aterro e ou unitário na envolvente da área de confinamento);
- 3) Um sistema de captação, drenagem e recolha de lixiviados;
- 4) Um sistema de captação, drenagem e tratamento de biogás.

Os sistemas de drenagem de águas pluviais e de drenagem e recolha de lixiviados devem ser dimensionados tendo em conta as características do aterro e as condições meteorológicas locais.

O sistema de drenagem de águas pluviais separativo na base do aterro deve:

- 1) Ser dimensionado de modo a evitar a formação desnecessária de lixiviados e a minimizar a afluência de líquidos ao sistema de tratamento de lixiviados;
- 2) Incluir drenos e órgãos de captação e desvio, estrategicamente colocados, de modo a assegurar o cumprimento da função a que se destinam.

O sistema de drenagem de águas pluviais unitário deve:

- 1) Ser dimensionado de modo a assegurar o desvio das águas pluviais superficiais da área de confinamento do aterro, bem como evitar a ocorrência de fenómenos erosivos ao nível dos taludes do aterro;
- 2) Incluir valetas, sumidouros e outros órgãos.

Deve igualmente garantir-se a instalação, no sistema de selagem, de uma camada de drenagem de águas pluviais.

O sistema de drenagem e recolha de lixiviados deve ser dimensionado de modo a assegurar a rápida remoção dos lixiviados do aterro, controlando-se assim a altura de líquido sobre o sistema de revestimento e minimizando-se o risco de infiltração de lixiviados no solo subjacente ao aterro causado por uma carga hidráulica excessiva, e deve obedecer, designadamente, às seguintes características:

- 1) O fundo do aterro deve ter uma inclinação mínima de 2 % em toda a área;
- 2) A camada mineral drenante deve apresentar uma espessura mínima de 0,5 m, um valor de condutividade hidráulica igual ou superior a 10^{-4} m/s e ser isenta de material calcário.

Os lixiviados recolhidos devem ter um tratamento e um destino final adequados, de acordo com a legislação aplicável. As unidades de tratamento dos lixiviados devem possuir os órgãos necessários para permitir a interrupção do seu funcionamento para manutenção e avarias. A capacidade destes órgãos deve, cumulativamente, ser suficiente para absorver a afluência de lixiviados associada a condições pluviométricas excepcionais típicas do local em causa.

O biogás produzido pelos aterros que recebam resíduos biodegradáveis deve ser captado, tratado e utilizado de forma a reduzir ao mínimo os efeitos negativos ou a deterioração do ambiente e os riscos para a saúde humana. Caso o biogás captado não possa ser utilizado para a produção de energia, deve ser queimado em *flare* (queimador).

2.4 REQUISITOS DE ESTABILIDADE

A deposição dos resíduos no aterro deve ser realizada de modo a assegurar a estabilidade da massa de resíduos e das estruturas associadas, nomeadamente no sentido de evitar deslizamentos e/ou derrubamentos.

Sempre que é criada uma barreira artificial, deve garantir-se que o substrato geológico, considerando a morfologia do aterro, é suficientemente estável para evitar assentamentos que possam danificar essa barreira.

2.5 EQUIPAMENTOS, INSTALAÇÕES E INFRA-ESTRUTURAS DE APOIO

O aterro deve ser dotado de equipamentos, instalações e infra-estruturas de apoio que permitam uma adequada exploração, reduzindo ao mínimo os efeitos para o ambiente provocados por:

- 1) Emissão de cheiros e poeiras;
- 2) Elementos dispersos pelo vento;
- 3) Ruído e tráfego;
- 4) Aves, roedores e insectos;

- 5) Formação de aerossóis;
- 6) Incêndios.

O aterro deve ser concebido de modo a garantir que não haja dispersão de poluentes na via pública ou nos terrenos adjacentes e deve ter uma protecção adequada que impeça o livre acesso ao local.

Os portões devem manter-se fechados fora das horas de funcionamento e o sistema de controlo e de acesso à instalação deve incluir medidas para detectar e dissuadir qualquer descarga ilegal na instalação.

2.6 ACOMPANHAMENTO E CONTROLO NAS FASES DE EXPLORAÇÃO E PÓS-ENCERRAMENTO

O operador deve atribuir a direcção da exploração do aterro a um técnico com formação superior e experiência adequadas, cuja identificação e currículo é comunicada à entidade licenciadora sempre que esta o solicite.

O operador deve assegurar a formação e a actualização profissional do técnico responsável pela direcção de exploração do aterro, bem como do restante pessoal afecto à exploração do aterro.

2.6.1 ACOMPANHAMENTO E CONTROLO NA FASE DE EXPLORAÇÃO

2.6.1.1 MANUAL DE EXPLORAÇÃO

O operador deve dispor de um manual de exploração do qual constem os procedimentos relativos à operação e manutenção do aterro, nomeadamente:

- 1) Forma de controlo dos resíduos à entrada da instalação;
- 2) Esquema de enchimento do aterro, tendo como referência o projecto aprovado (superfície máxima a céu aberto em regime de exploração normal, altura de deposição dos resíduos, características dos taludes de protecção e suporte dos resíduos, etc.);
- 3) Plano de monitorização, incluindo os parâmetros a determinar e a frequência, os locais e os métodos de amostragem;

- 4) Sistema de manutenção e controlo do funcionamento das infra-estruturas do aterro: sistemas de drenagem, poços de registo e de drenagem dos lixiviados, bacias dos lixiviados e das águas pluviais recolhidas durante a exploração, valas de drenagem, piezómetros, etc.;
- 5) Condições técnicas de selagem e encerramento do aterro, de acordo com o projecto aprovado;
- 6) Medidas de prevenção de incidências, acidentes e incêndios, bem como das medidas a tomar em cada caso.

2.6.1.2 RELATÓRIOS DE ACTIVIDADE

Anualmente o operador do aterro elabora e envia à entidade licenciadora um relatório da actividade da instalação, do qual constam designadamente:

- 1) Avaliação do estado do aterro, efectuada através da superfície ocupada pelos resíduos, volume e composição dos resíduos, métodos de deposição, início e duração da deposição e cálculo da capacidade de deposição ainda disponível no aterro, acompanhada do plano de enchimento, com eventual redefinição de cotas;
- 2) Processos, resultados, análises e conclusões do controlo efectuado (relativamente aos pontos 2.6.1.4-9 descritos a seguir) e comparação com a respectiva situação de referência, os quais devem ser enviados em suporte informático.

2.6.1.3 REGISTOS

O operador do aterro deve manter um registo sistemático dos seguintes elementos:

- 1) Guias de acompanhamento relativas a cada produtor, as quais devem conter o número de série, o número da ficha de admissão, a quantidade dos resíduos admitidos expressa em toneladas, a identificação do produtor e do transportador, a matrícula do veículo ou do reboque e a data de entrega dos resíduos;
- 2) Operações de enchimento e selagem, bem como assentamentos observados;
- 3) Levantamentos topográficos efectuados, permitindo verificar a conformidade ou não conformidade da realidade com as previsões do projecto;

- 4) Dados meteorológicos diários – volume de precipitação, temperatura, direcção e velocidade do vento, e, sempre que se justifique, de evaporação e humidade atmosférica;
- 5) Resultados de todas as análises e medições efectuadas;
- 6) Anomalias verificadas no aterro.

Os registos devem ser conservados até ao fim da fase de acompanhamento e controlo do encerramento da instalação e disponibilizados a pedido das entidades competentes.

2.6.1.4 CONTROLO DE ASSENTAMENTOS E ENCHIMENTO

O operador deve controlar anualmente os potenciais assentamentos do terreno e da massa de resíduos depositada, mediante a colocação de marcos topográficos previstos para o efeito.

Uma vez por ano, o operador realiza um levantamento topográfico da massa de resíduos depositada no aterro de forma a tornar possível a comparação e a sobreposição dos resultados obtidos com os resultados anteriores.

2.6.1.5 CONTROLO DOS LIXIVIADOS

O operador deve monitorizar o volume, nível e qualidade dos lixiviados produzidos no aterro actuando da seguinte forma:

- 1) Controlar quinzenalmente o nível dos lixiviados;
- 2) Realizar mensalmente a monitorização do volume dos lixiviados produzidos no aterro;
- 3) Realizar mensalmente, trimestralmente e semestralmente a análise dos parâmetros definidos consoante a periodicidade indicada;
- 4) Se for constatada qualquer fuga na bacia dos lixiviados, esta deve ser imediatamente esvaziada e reparada, sendo do facto informada a entidade licenciadora. O incidente deve constar do registo da instalação.

O operador do aterro deve medir o caudal de entrada de lixiviados na bacia de lixiviados, semanalmente e sempre após uma precipitação significativa e deve controlar diariamente a capacidade disponível na bacia dos lixiviados.

2.6.1.6 CONTROLO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Antes do início das operações de exploração, e no sentido de dispor de um valor de referência para futuras análises, o operador do aterro procede à recolha e análise de amostras das águas superficiais, se presentes, nas estações seca e húmida, em pelo menos dois pontos representativos, um a montante e outro a jusante do aterro. Caso a linha de água seja de carácter intermitente, devem ser feitas análises aquando das primeiras chuvas do ano hidrológico.

O controlo das águas superficiais, se presentes, é efectuado com periodicidade trimestral, nos mesmos pontos amostrados antes do início das operações de exploração.

As amostras a recolher devem ser representativas da composição média e as condições de monitorização dos recursos hídricos são definidas pela ARH competente.

A ARH pode indicar uma lista de análises a efectuar diferente ou indicar uma frequência diferente das mesmas, se a avaliação dos dados indicar que intervalos mais longos são igualmente eficazes, em articulação com a entidade licenciadora ou pode considerar não ser necessária a realização destas análises, em função das características da instalação do aterro.

2.6.1.7 CONTROLO DO BIOGÁS

O controlo do biogás deve ser representativo de cada alvéolo do aterro.

Devem ser calculadas mensalmente, com base em modelos matemáticos, as emissões de CH₄, de O₂ e de CO₂, e segundo as necessidades, de acordo com a composição dos resíduos depositados, outros gases (H₂S, H₂, etc.).

A entidade licenciadora pode indicar uma lista dos parâmetros a calcular diferente ou indicar uma frequência dos cálculos diferente, se a avaliação dos dados indicar que intervalos mais longos são igualmente eficazes.

2.6.1.8 CONTROLO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Antes do início das operações de exploração, e no sentido de dispor de um valor de referência para futuras análises, o operador do aterro deve proceder à colheita de amostras e à análise dos piezómetros da rede de controlo e dos pontos de água subterrânea situados na área de influência potencial do aterro. Deve ser previsto, no

mínimo, um ponto de monitorização na região de infiltração e dois na região de escoamento. A colheita de amostras deve ser precedida de bombagem prévia dos piezómetros, conforme as disposições da Norma ISO 5667-18.

Os parâmetros a medir, sem prejuízo de outros que possam vir a ser definidos pela ARH, e a sua periodicidade, são os indicados na tabela do ponto 9.1.1 do Anexo III do Decreto-Lei 183/2009, de 10 de Agosto.

Durante a fase de exploração da instalação, o operador do aterro deve monitorizar a qualidade das águas subterrâneas na rede piezométrica de controlo, com a frequência e através das medições e determinações analíticas indicadas na tabela acima referida.

A ARH pode indicar uma lista de análises a efectuar diferente em função da composição prevista do lixiviado e da qualidade das águas subterrâneas da zona, tendo em atenção a mobilidade da zona freática, ou indicar uma frequência diferente das mesmas em função da possibilidade de acções de correcção entre duas amostragens, caso se atinja o limiar de desencadeamento de variações significativas na qualidade das águas, em articulação com a entidade licenciadora.

O limiar de desencadeamento de variações significativas na qualidade das águas deve constar da licença, sempre que possível.

Com base em proposta do operador do aterro, a entidade licenciadora pode autorizar o estabelecimento de outros períodos de controlo, bem como a alteração da lista de parâmetros a analisar.

Caso haja uma variação significativa na qualidade das águas, deve-se aplicar o procedimento descrito no respectivo diploma legal.

2.6.1.9 OUTROS REQUISITOS

Em aterros para resíduos não perigosos e exclusivamente com o intuito de promover o processo de degradação biológica dos resíduos, é permitida a humedificação dos mesmos, através da reinjecção de concentrado da unidade de tratamento avançado por membranas, de afluente e de lamas da unidade de tratamento dos lixiviados, desde que os potenciais impactes adversos sobre o ambiente sejam minimizados.

2.6.2 FASE PÓS-ENCERRAMENTO

O operador só pode dar início às operações de encerramento do aterro nos seguintes casos:

- 1) Quando estiverem reunidas as condições necessárias previstas no alvará de licença para a operação de deposição de resíduos em aterro e após informação à entidade licenciadora;
- 2) Mediante autorização da entidade licenciadora, a pedido do operador;
- 3) Por decisão fundamentada da entidade licenciadora.

2.6.2.1 CONDIÇÕES GERAIS

O operador do aterro deve proceder à manutenção e ao controlo da instalação durante a fase de gestão após o encerramento. O período de manutenção e controlo é o exigido na licença tendo em conta o período de tempo durante o qual o aterro possa representar perigo para o ambiente e para a saúde humana.

As operações de manutenção e controlo realizadas durante a fase de gestão do aterro após o encerramento são custeadas pelo operador do aterro ou efectuadas sob sua responsabilidade.

A entidade licenciadora pode realizar ou mandar realizar toda e qualquer medida correctiva, operações de manutenção, controlo ou análise suplementar que considerar convenientes, sendo os custos suportados pelo operador do aterro e pode alterar o programa de manutenção e controlo pós-encerramento, se o considerar conveniente.

Com base em proposta fundamentada do operador, a entidade licenciadora pode autorizar a alteração da lista dos parâmetros a medir e a frequência dos controlos a realizar.

2.6.2.2 RELATÓRIOS

Após a selagem definitiva do aterro e num prazo não superior a três meses, o operador deve entregar à entidade licenciadora uma planta topográfica pormenorizada do local de implantação em formato digital, à escala de 1:1000, com indicação dos seguintes elementos:

- 1) O perímetro da cobertura final e o conjunto das instalações existentes no local: vedação exterior, bacia de recolha dos lixiviados, sistema de drenagem das águas pluviais, etc.
- 2) A posição exacta dos dispositivos de controlo: piezómetros, sistema de drenagem e tratamento dos gases e dos lixiviados, marcos topográficos para controlar os potenciais assentamentos, etc.

Anualmente o operador do aterro elabora e envia à entidade licenciadora um relatório de síntese sobre o estado do aterro, com especificação das operações de manutenção e dos processos e resultados dos controlos realizados no decorrer do ano anterior. Os resultados dos controlos efectuados devem ser informatizados e enviados em suporte informático.

2.6.2.3 MANUTENÇÃO

As infra-estruturas do aterro devem ser mantidas em bom estado, nomeadamente:

- 1) A cobertura final do aterro;
- 2) O sistema de drenagem e de tratamento dos lixiviados;
- 3) A rede de poços de registo e de drenagem dos lixiviados, a rede de drenagem das águas pluviais e os piezómetros de controlo da qualidade das águas subterrâneas.

Os lixiviados gerados no aterro são submetidos ao tratamento previsto na licença e a eficácia do sistema de extracção de gases deve ser verificada pelo menos uma vez por ano.

2.6.2.4 CONTROLO DOS DADOS METEOROLÓGICOS E ASSENTAMENTOS

Recomenda-se o registo dos seguintes parâmetros:

- 1) Volume de precipitação, diariamente, além dos valores mensais;
- 2) Temperatura média mensal
- 3) Evaporação, diariamente, além dos valores mensais;
- 4) Humidade atmosférica média mensal.

Os assentamentos do terreno e da cobertura final do aterro devem ser controlados anualmente.

2.6.2.5 CONTROLO DOS LIXIVIADOS

Nos aterros para resíduos não perigosos e perigosos deve ser semestralmente controlada a qualidade dos lixiviados gerados. Nos aterros para resíduos inertes, o controlo deve ser anual. Os parâmetros a determinar devem ser os indicados no decreto-lei já referido.

Deve proceder-se ao controlo semestral do volume dos lixiviados gerados. A amostragem e a medição (volume e composição) dos lixiviados devem ser efectuadas separadamente em cada ponto em que surjam. As amostras a recolher deverão ser representativas da composição média.

A entidade licenciadora pode alterar a lista de análises a efectuar e ou a frequência das mesmas, se a avaliação dos dados indicar que intervalos mais longos são igualmente eficazes, devendo estes aspectos ser especificados na licença. A condutividade deve em qualquer caso ser medida pelo menos uma vez por ano.

2.6.2.6 CONTROLO DE GASES

Deve proceder-se ao controlo semestral do biogás através da medição dos parâmetros indicados em 2.6.1.7, recorrendo a tomas de amostragem instaladas no sistema de captação de biogás para queima ou valorização energética.

2.6.2.7 CONTROLO DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

O controlo das águas superficiais, se presentes, é efectuado com periodicidade semestral, nos mesmos pontos de amostragem considerados na fase de exploração.

Deve proceder-se ao controlo semestral das águas subterrâneas nos piezómetros da rede de controlo, em termos do nível piezométrico e dos parâmetros pH, condutividade e cloretos e ao controlo anual da qualidade destas águas em termos dos restantes parâmetros designados.

Se durante a fase de manutenção e controlo após encerramento ocorrer uma variação significativa da qualidade das águas subterrâneas, deve-se aplicar o procedimento descrito no respectivo diploma legal.

3 IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS

As necessidades legais e a limitada disponibilidade de locais com características geológicas e localização apropriadas à instalação de aterros levaram à procura de tecnologias que garantam níveis de impermeabilização adequados.

Estas tecnologias de impermeabilização de grandes superfícies foram desenvolvidas após a década de 70, com o aparecimento de materiais apropriados como as geomembranas, geogrelhas, geocompósitos e outros, tendo levado ao termo geossintético já nos anos 80, como uma designação mais genérica, englobando portanto os geotêxteis, as geomembranas e todos os produtos afins.

3.1 GEOSSINTÉTICOS

Geossintético é um termo composto por “geo + sintético”, que significa “terra + um produto manufacturado pelo homem”. Pode-se designar como um produto plano fabricado a partir de materiais polímeros (sintéticos ou naturais) usado em contacto com os maciços naturais, solos ou rochas, ou outro material geotécnico em obras de Engenharia.

Os geossintéticos, apesar de serem materiais relativamente novos, têm tido um franco desenvolvimento. A primeira aplicação de um geotêxtil tecido de algodão, em reforço de estradas, nos Estados Unidos, ocorreu por volta de 1930 (Beckam e Mills, 1935). O aparecimento do polímero sintético verificou-se nos anos 40. A primeira aplicação de um geotêxtil de fibras sintéticas data de 1950, na Flórida (Barret, 1996). Na Europa, a aplicação de geotêxteis tecidos (Gicot e Perfetti, 1982) data de 1960 na Holanda, e de geotêxteis não tecidos em 1969 na França (Vantrain e Puig, 1969).

A designação dos polímeros sintéticos, bem como a sigla pela qual muitas vezes são conhecidos, é a seguinte:

PET	–	Poliéster,
PA	–	Poliamida,
PE	–	Polietileno,
LDPE	–	Polietileno de baixa densidade (PEBD),
LLDPE	–	Polietileno de baixa densidade linear (PEBDL),

HDPE	–	Polietileno de alta densidade (PEAD),
PP	–	Polipropileno,
PS	–	Poliestireno,
PVC	–	Cloreto de Polivinilo,
ECB	–	Copolímero de etileno com betume,
CPE	–	Polietileno clorado.

Os três últimos materiais sintéticos (PVC, ECB e CPE), só são usados para fabricação de geomembranas.

Em termos químicos os polímeros sintéticos são constituídos no geral por compostos de carbono e hidrogénio, organizando-se em grupos por vezes muito complexos.

O elemento mais simples que forma qualquer polímero constituinte dos geossintéticos é o monómero. Na polimerização dá-se a junção dos monómeros de modo a formarem macromoléculas, variando as propriedades de um polímero de acordo com o número e o tipo de monómeros que o constituem.

3.1.1 SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO

Os sistemas de impermeabilização a desenvolver em aterros utilizam vários tipos de geossintéticos e em diferentes configurações, que dependem da exigência, em primeiro lugar do tipo de aterro considerado e respectivas directivas legislativas mas também das particularidades do projecto a implementar consoante os estudos previamente efectuados.

Estes sistemas estendem-se pela zona basal e taludes, abrangendo toda a geometria do terreno destinado à área de deposição de resíduos. Em projecto, os requisitos a observar pelo revestimento de acordo com a geometria e condicionalismos associados a:

- 1) Barreira passiva existente;
- 2) Capacidade de carga da fundação;
- 3) Inclinação e estabilidade dos taludes;
- 4) Obras de contenção; desvio de linhas de água; obras complementares;
- 5) Drenagem de fundo e dos taludes; sistemas separativos;

São os seguintes:

- 1) Requisitos de comportamento;
- 2) Constituição do sistema de revestimento de fundo e lateral;
- 3) Dimensionamento dos diferentes componentes;
- 4) Plano de Garantia de Qualidade de Construção;
- 5) Requisitos de monitorização;
- 6) Especificações dos materiais a utilizar;
- 7) Pormenores construtivos relevantes (tais como valas de ancoragem).

O sistema de revestimento e impermeabilização de fundo e lateral tem como principal função impedir a fuga de efluentes líquidos (lixiviados) e gasosos (biogás) durante o período de vida activa (incluindo o período de fecho) do aterro de resíduos. De modo a cumprir o objectivo supracitado deve conter um sistema de protecção ambiental passiva e activa como especificado anteriormente e de acordo com o Decreto-Lei 183-2009, de 10 de Agosto.

Os sistemas de protecção ambiental passiva e activa podem ser efectuados quer com material mineral quer com o geossintéticos adequados para o efeito. Assim, nos capítulos seguintes deste documento, vão ser apresentados vários tipos de geossintéticos, as suas características, a sua aplicação e instalação em aterros e o respectivo controlo de qualidade que garante a eficácia e eficiência dos mesmos.

3.1.2 EQUIPAMENTOS DE APOIO À INSTALAÇÃO E APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS

A aplicação de geossintéticos tem recorrer, a maior parte das vezes, a equipamentos de apoio, quer seja pela dimensão dos rolos onde estes são fornecidos, pelo peso que estes materiais por vezes possuem (que poderão chegar perto das duas toneladas) ou ainda devido a condições de aplicação que implicam o uso de ferramentas específicas para essa instalação.

Por estes motivos são descritos a seguir esses mesmos equipamentos e ferramentas utilizados na aplicação de todo o tipo de geossintéticos em aterros (ver Figuras 3.1 a 3.5).



Figura 3.1 – Máquina retroescavadora: responsável pelo armazenamento, transporte e apoio à instalação dos geossintéticos.



Figura 3.2 – Canga: equipamento de suporte dos geossintéticos e apoio à instalação.



Figura 3.3 – Gerador e extensões eléctricas: alimentação eléctrica dos equipamentos.

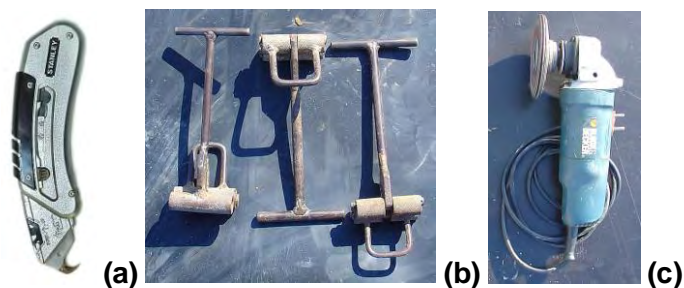


Figura 3.4 – a) Cortador de lâmina curva: para acertos e cortes nos geossintéticos e b) Agarra: ferramenta utilizada exclusivamente para puxar e colocar a geomembrana no local correcto e c) Rebarbadora de discos abrasivos: para preparar a área a soldar por soldadura por extrusão.



Figura 3.5 – Pá e sacos de fibra: para calcar e segurar provisoriamente os geossintéticos aplicados e escadas de madeira para execução de soldaduras e segurar provisoriamente os geossintéticos aplicados em taludes inclinados.

Existem ainda outros equipamentos mais específicos que são utilizados nas execuções das soldaduras em geomembranas em PEAD – a máquina de soldadura por dupla pista (para a soldadura da geomembrana) e a máquina de soldadura por extrusão (para a reparação de perfurações acidentais e para a soldadura de pormenores) – e a máquina de ar quente que além de ser utilizada na aplicação da geomembrana também é utilizada na colagem dos geotêxteis aplicados em aterros, estes, uma vez que apresentam características particulares, serão descritos mais adiante em pormenor, no capítulo reservado à geomembrana em PEAD.

3.2 GEOGRELHAS

3.2.1 CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

O desenvolvimento de materiais poliméricos de alto módulo de rigidez, quando submetidos à tracção, possibilitaram a utilização destes como reforço em vários materiais de construção, inclusive o solo.

As primeiras geogrelhas foram desenvolvidas na Inglaterra em 1980 e levadas para os Estados Unidos, via Canadá em 1982 (Koerner, 1999).

As geogrelhas são usadas como elemento de reforço em obras geotécnicas e de protecção ambiental com a função de aumentar a capacidade de resistência dos solos, bem como aumentar ângulos de atrito entre várias camadas de material. A característica principal das geogrelhas é que a abertura da sua malha é grande o suficiente para permitir o entrosamento das partículas do solo ou do material granular em contacto com a mesma, proporcionando uma boa interacção do conjunto (Figura 3.6).

Para que isto ocorra, tanto os fios, que formam os elementos transversais e longitudinais da geogrelha, como os nós (cruzamento destes dois elementos), deverão ter a rigidez e a resistência à tracção adequada para haver o mecanismo de interacção. Este mecanismo dá-se através do intertravamento entre o material de contacto, que penetra no interior da malha, colocando em tracção os elementos transversais, os quais transmitem a carga para os elementos longitudinais, através dos nós.

A abertura da malha permite também a drenagem vertical da camada de solo integrante do sistema de reforço.

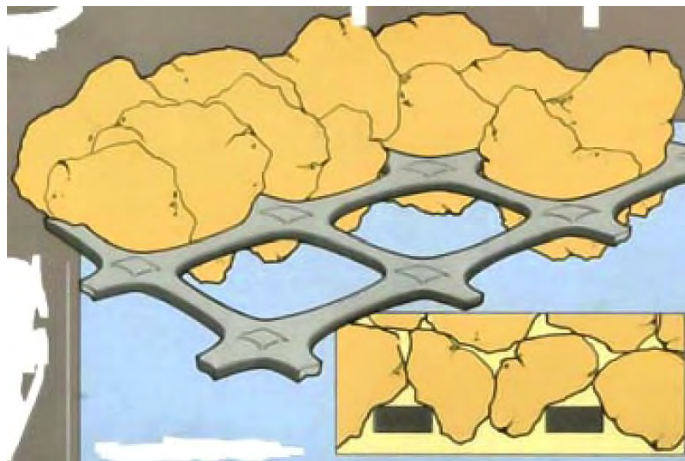


Figura 3.6 – Mecanismo do intertravamento geogrelha/solo ou material granular.

3.2.2 TIPOS DE GEOGRELHAS

Os fios, que formam os elementos longitudinais e transversais da malha da geogrelha, podem ser fabricados a partir de diversas resinas e a forma como se interceptam varia, conforme o tipo da geogrelha.

As geogrelhas são denominadas unidireccionais, quando apresentam resistência à tracção elevada numa das direcções de fabricação (direcção longitudinal ou transversal da bobine), e bidireccionais quando apresentam resistência à tracção elevada nas duas direcções de fabricação. Em função do processo de fabricação, as geogrelhas podem ser extrudidas, soldadas ou tecidas (MBG – Capítulo 1, 2004).

Dentro deste contexto, os principais tipos de geogrelha disponíveis no mercado internacional são:

- 1) Geogrelhas orientadas fabricadas pela extrusão de resinas de PEAD ou de PP; denominadas geogrelhas rígidas.

- 2) Geogrelhas tecidas, cujos elementos resistentes são constituídos por vários fios, fabricados com resinas de poliéster ou de fibra de vidro, os quais formam um feixe, que é revestido por PVC, látex ou betume; denominadas geogrelhas flexíveis.

Dependendo do tipo de polímero e do processo de fabricação empregue, as geogrelhas terão características e propriedades diferentes. O processo de fabricação pode ser pela união dos fios por ultra-som ou por colagem, ou ainda pela união por costura, e o revestimento dos fios é a última etapa. Embora o uso principal das geogrelhas seja para reforço, alguns tipos são utilizados em pavimentos asfálticos e impermeabilização ou em separação e estabilização de solos. Geogrelhas são também usadas como gabiões, e como elementos ancorados, inseridos entre geotêxteis e geomembranas (IFAI – S. Guide, 2004).

As características técnicas das geogrelhas vêm explícitas nas fichas técnicas do fabricante, podendo assim ser identificadas e seleccionadas de acordo com o exigido em projecto (Anexo A – Exemplo de características técnicas de geogrelhas).

As geogrelhas podem apresentar-se de forma simples ou acopladas a geotêxtil conforme se pode verificar na figura seguinte.

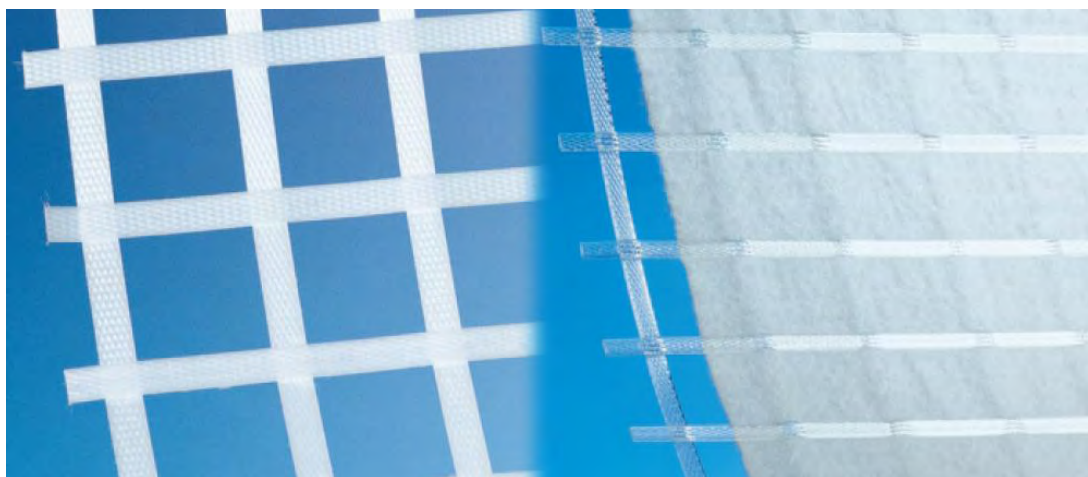


Figura 3.7 – Exemplo de geogrelhas simples e geogrelhas acopladas com geotêxtil.

3.2.3 INSTALAÇÃO DE GEOGRELHAS

A superfície deve estar preparada antes da colocação da geogrelha. Se colocada sobre terra, esta deve encontrar-se com espessura e uniformizada, sem objectos ou qualquer

outro material que possa diminuir a sua aplicabilidade. A sua colocação deve ser de acordo com o projecto inicialmente estabelecido e com o requerido em projecto, desde a força de tracção requerida até à sua colocação e *layout* predefinido.

A geogrelha será colocada directamente no local preparado para o efeito e deve ser colocada de forma a não ficar com pregas ou dobras.

A geogrelha deve ser sobreposta com um mínimo de 300 mm tanto na direcção transversal como longitudinal (Figura 3.8), ou unida conforme especificado nos planos de projecto. As instalações de inclinações mais suaves podem necessitar de maior sobreposição, ou a junção de rolos adjacentes recorrendo ao uso de materiais de ligação (tipo abraçadeira plástica) ou outro dispositivo conveniente para manter a posição e a orientação da geogrelha durante a colocação de terras.

Quando aplicadas em taludes, as juntas de sobreposição serão orientadas paralelamente à sua linha de maior declive.

Este tipo de geossintético pode ser instalado em qualquer classe de aterro desde que a sua utilização seja especificada em projecto ou verificada necessária aquando da realização do mesmo.

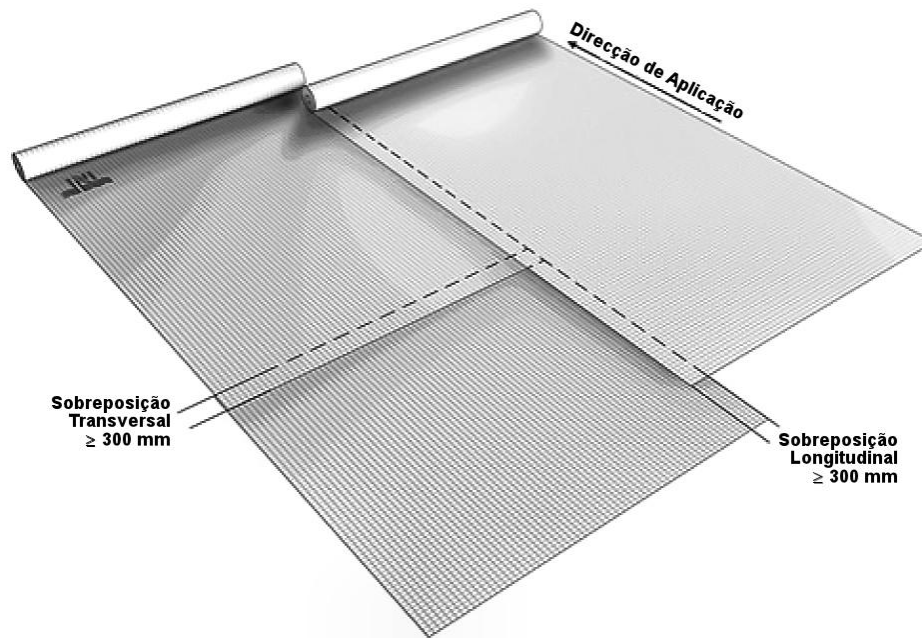


Figura 3.8 – Aplicação de geogrelhas.

As geogrelhas são constituídas por fibras com alta resistência, uma vez que são projectadas para aguentarem altas tensões, por este motivo o seu manuseamento exige o maior cuidado pois qualquer percalço aquando da sua aplicação pode inferir ao técnico graves golpes. Assim, caso haja necessidade de cortar este material, a tarefa deve ser realizada com a maior precaução e recorrendo ao uso de equipamento específico para o efeito, como por exemplo tesouras ou equipamento eléctrico (Figura 3.9).

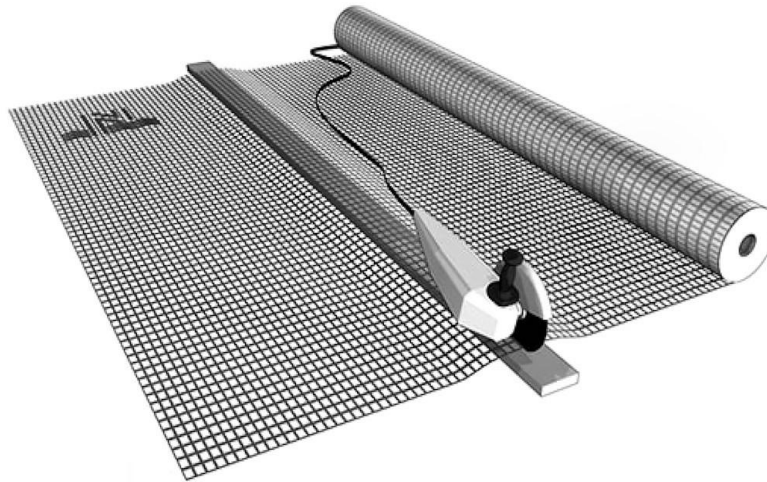


Figura 3.9 – Operação de corte da geogrelha.

Caso sejam detectadas, depois de instaladas, geogrelhas danificadas, estas devem ser reparadas antes da colocação de material de enchimento. Danos contra a direcção de reforço principal são menos preocupantes e podem ser reparados simplesmente por sobreposição da área danificada com material de substituição de pelo menos 0,50 cm (Figura 3.10). Se os danos são na direcção de reforço, então deve ser contactado o projectista de modo a aprovar uma reparação como explicada anteriormente. Caso os danos sejam muito profundos e possam por em causa a segurança da aplicação, então é recomendada a substituição em todo o comprimento da zona danificada com nova geogrelha de reforço.

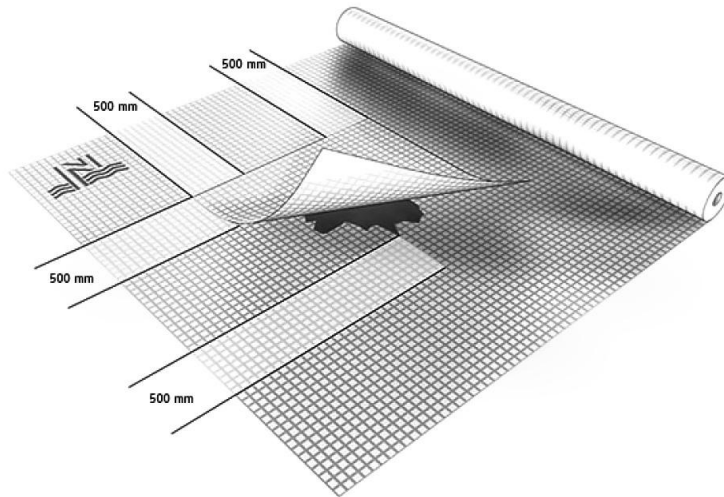


Figura 3.10 – Reparação de geogrelhas.

Existem várias variantes de aplicação destes geossintéticos consoante a necessidade do projecto. Deste modo, as geogrelhas podem ser aplicadas por cima da geomembrana de modo a conterem as terras de cobertura em taludes inclinados (nas selagens) ou nas impermeabilizações de modo a conterem os resíduos depositados em aterro. Poderão ainda, com o mesmo objectivo de conter taludes íngremes, ser aplicadas por debaixo da geomembrana.

Poderão ainda ser contempladas associações com outros geossintéticos, como por exemplo geotêxteis ou geocompostos drenantes, dependendo das especificações e necessidades de projecto (ver Figura 3.11 e Figura 3.13).

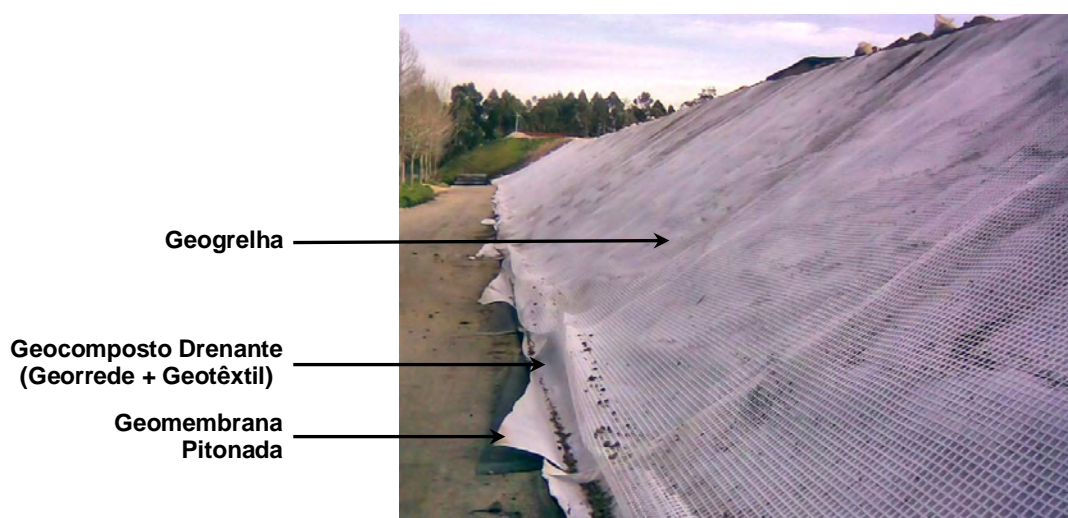


Figura 3.11 – Aplicação de geogrelhas em taludes de grande inclinação em aterro, por cima da geomembrana.



Figura 3.12 – Cobertura de geogrelhas em talude de aterro de resíduos.

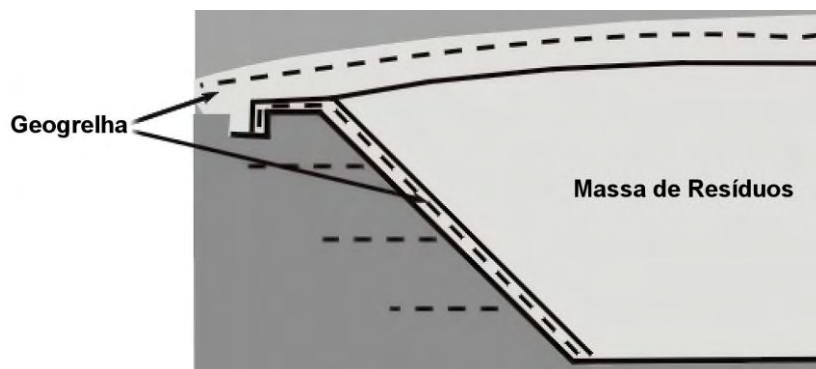


Figura 3.13 – Exemplo de aplicação de geogrelhas em taludes de grande inclinação e topo de aterros.

3.3 GEORREDES E GEOCOMPOSTOS DRENANTES

A distância cada vez maior entre os grandes centros urbanos e as fontes de agregados naturais, a falta de áreas disponíveis para armazenamento de resíduos urbanos e industriais e a facilidade e rapidez na execução da drenagem com georredes e geocompostos drenantes, fazem destes geossintéticos uma excelente alternativa para drenagem numa infinidade de aplicações em obras geotécnicas e de protecção ambiental.

A georrede foi usada pela primeira vez para drenar lixiviados em aterros em 1984 nos Estados Unidos. Até 1994 fazia parte da família das geogrelhas. A separação foi devido à sua função e não à sua configuração. As georredes são usadas para drenagem, enquanto as geogrelhas, conforme já foi referido no anterior capítulo, são usadas para

reforço. Apesar da separação não se deve encarar a georrede como um geossintético sem resistência. A sua resistência mecânica é muito boa, principalmente a compressão, mas a sua função é drenar.

Os geocompostos para drenagem surgiram nos Estados Unidos no final da década de 80 e na Europa em meados da década de 70. A concepção básica do geocomposto é combinar as melhores características de dois geossintéticos (georrede e geotêxtil), resultando uma excelente capacidade drenante.

3.3.1 CARACTERÍSTICAS DA GEORREDE

A georrede é constituída pela extrusão contínua por uma série de barras poliméricas paralelas interconectadas, formando ângulos agudos entre si. A malha resultante é relativamente aberta, com configuração de grelha, formando pequenos canais que conduzem fluidos de todos os tipos e também gases, no seu plano (Figura 3.14).

A matéria-prima da georrede é o PEAD, polímero que apresenta excelente resistência química. Possui também excelente resistência aos raios ultravioleta, devido à adição do negro de fumo à sua constituição.

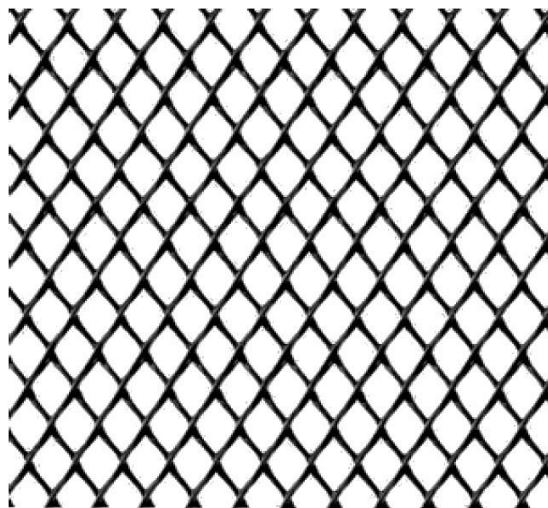


Figura 3.14 – Georrede.

A georrede substitui drenos de agregados naturais de brita ou de areia, com vantagens de maior rapidez de execução do dreno e maior espaço para armazenamento dos resíduos, no caso de valas, pois a sua espessura varia de 5 a 7 mm.

A georrede não deve ficar em contacto directo com o solo ou com o resíduo, deve ser usada em forma de sanduíche com geotêxtil não-tecido, na forma de geocomposto, ou em contacto com superfícies como a geomembrana e o betão, para que os seus canais não sejam obstruídos.

3.3.2 *GEOCOMPOSTO DRENANTE*

Um geocomposto é constituído pela combinação de um ou mais geossintéticos, com a finalidade de aumentar o desempenho de cada um, se usado isoladamente. O geocomposto drenante consiste numa georrede de PEAD aderida, por calor, ao geotêxtil não-tecido em uma ou duas faces (Figura 3.15). O núcleo de georrede, composto por pequenos canais, é responsável pelo escoamento dos fluidos ou gás e o geotêxtil actua como filtro e separador, mantendo o solo e os resíduos fora dos canais da georrede. O geotêxtil não-tecido poderá ser de PP ou de PET, dependendo da exigência do projecto, a qual geralmente é função do resíduo ou efluente a ser armazenado.

O geocomposto é um produto ideal quando o projecto e/ou os materiais em contacto com a georrede, exigem um geotêxtil, pois a combinação dos dois geossintéticos proporciona o aumento da resistência ao deslizamento entre os geossintéticos, quando utilizado em taludes.

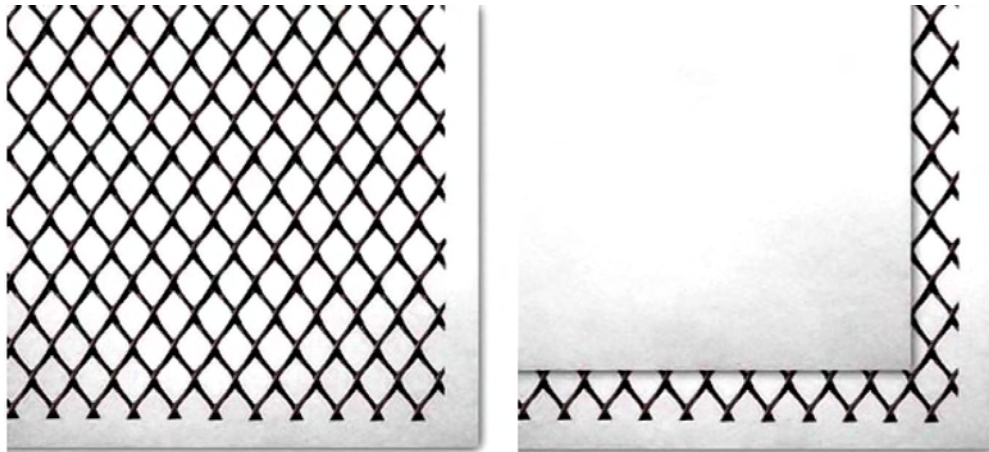


Figura 3.15 – Geocomposto drenante com geotêxtil numa e duas faces.

O geotêxtil não-tecido utilizado no geocomposto deve ter gramagem mínima de 100 g/m^2 , a fim de minimizar a intrusão do geotêxtil nos canais da georrede. A georrede, por sua vez, pode ter a espessura de 5 ou de 7 mm, dependendo do caudal a ser drenado.

O geocomposto, assim como a georrede, substitui camadas de drenos naturais de agregados, compostos de areia e brita, com vantagens de proporcionar maior capacidade de armazenamento dos resíduos e instalação fácil e rápida em valas de aterros sanitários, de resíduos industriais e outros tipos de obras de protecção ambiental. Além disto, reduz o impacto ambiental e devido à sua pequena espessura e a rapidez na execução do dreno, o seu uso resulta numa alternativa económica e vantajosa.

As características técnicas destes geossintéticos vêm detalhadas nas fichas técnicas do fabricante, podendo assim ser identificadas e seleccionadas de acordo com o exigido em projecto (ver Anexo B – Exemplo de características técnicas de geocomposto drenante (geotêxtil+georrede))

3.3.3 APLICAÇÕES DOS GEOSSINTÉTICOS

Como já foi referido anteriormente existe uma grande variedade quer de georredes quer de geocompostos drenantes no mercado. Assim, importa definir em projecto a aplicação das mesmas, bem como as respectivas características, de drenagem, resistência, gramagem e outras que sejam relevantes, dos geossintéticos utilizados para que sejam identificadas e seleccionadas as indicadas para o efeito que se pretende obter.

Além das muitas aplicações em obras de construção civil, são indicadas a seguir as mais importantes ao nível de aterros de resíduos (drenagem de lixiviados, águas pluviais e/ou de gases).

3.3.3.1 DRENAGEM EM PLANOS INCLINADOS

- 1) Valas drenantes;
- 2) Valas de resíduos;
- 3) Aterros sanitários;
- 4) Coberturas de aterros sanitários e valas de resíduos.

3.3.3.2 DRENAGEM HORIZONTAL

1. Fundo de valas de resíduos, aterros sanitários, canais de irrigação.

3.3.3.3 COMO PROTECÇÃO

- 1) Protecção mecânica da geomembrana em contacto com os resíduos;
- 2) Protecção mecânica da geomembrana durante a colocação de solo ou da camada drenante de agregados sobre a mesma;
- 3) Regularização do solo de apoio da geomembrana;
- 4) Distribuição de carga sobre a geomembrana.

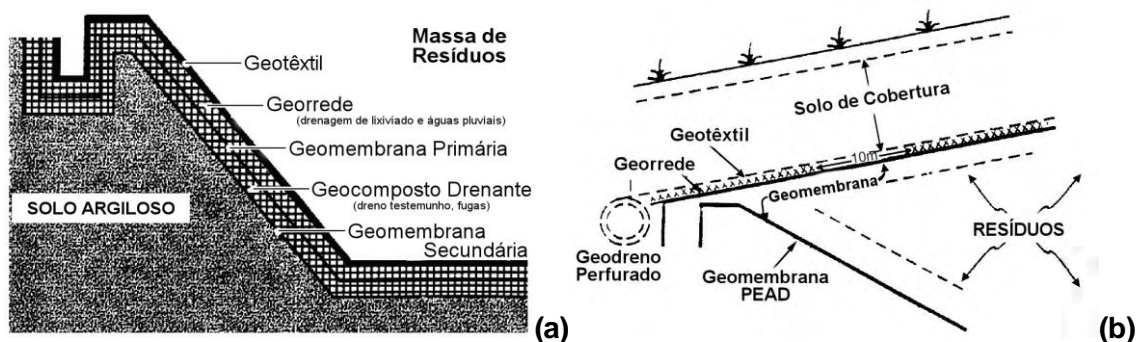


Figura 3.16 – Drenagem com geossintéticos em impermeabilizações (a) e selagens (b) de aterros.

3.3.4 INSTALAÇÃO DE GEORREDES E GEOCOMPOSTOS DRENANTES

Tanto a georrede como o geocomposto são fornecidos em rolos. A sua instalação será efectuada de modo a garantir a continuidade da superfície de drenagem. A sua colocação no local do dreno é simples e rápida, bastando desenrolar o rolo. Quando este material for também composto por uma camada de geotêxtil de aba suplementar, esta será sobreposta ao painel adjacente, podendo eventualmente recorrer-se à sua soldadura por máquina de ar quente (Figura 3.17).

Quando aplicados em taludes, as juntas de sobreposição serão orientadas paralelamente à sua linha de maior declive.

Em valas de resíduos, a ancoragem é feita na vala de amarração, escavada em volta da crista do talude juntamente com a geomembrana; em muros pode ser presa por grampos de aço ao muro de betão ou, para pequenas alturas, simplesmente colocado à medida que sobe a cota do reaterro. Neste caso, usa-se o geocomposto de uma georrede com o geotêxtil não-tecido aderido na face oposta à de contacto com o muro (por exemplo nos muros de gabiões efectuados para sustentar taludes de aterros).

No fundo das valas, a georrede ou geocomposto podem ser simplesmente trespassados, no entanto para evitar o risco de deslocamento relativo, na ocasião de aplicação da camada superior, é recomendável fazer uma amarração entre os rolos estendidos com abraçadeiras plásticas ou com fio de polietileno. Nos taludes deve-se sempre fazer a amarração.



Figura 3.17 – Aplicação de geocomposto drenante de águas pluviais na selagem de um aterro, recorrendo à união dos painéis por soldadura das abas suplementares com ar quente.

3.3.5 VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE GEORREDES E DE GEOCOMPOSTOS DRENANTES

Para se ter uma ideia do ganho de espaço uma georrede de 5 mm de espessura pode substituir uma camada drenante de areia grossa de 30 cm. A capacidade drenante da georrede é intermediária entre os geotêxteis não-tecidos agulhados espessos e outros geocompostos para drenagem.

De seguida apresentam-se algumas vantagens da utilização destes geossintéticos:

- 1) Menor tempo de execução da camada drenante;
- 2) Maior capacidade de armazenamento da vala ou do aterro;
- 3) Menor custo em relação aos agregados naturais;
- 4) Permite a construção de taludes mais íngremes;
- 5) Fácil instalação em qualquer condição ambiental, não exige mão-de-obra especializada e nem equipamentos especiais (salvo se houver necessidade de se recorrer à soldadura por ar quente, quando existente, da aba do geocomposto drenante);

- 6) Substitui materiais inertes locais;
- 7) Elimina os filtros graduados resultando em redução de custos de material e de instalação;
- 8) Alta transmissividade sob carregamento.

A figura a seguir apresentada, além de exemplificar a utilização de geocompostos drenantes em aterros de resíduos, também reflecte as vantagens descritas acima, principalmente do ganho em armazenamento de resíduos por diminuição das camadas drenantes substituindo a drenagem com materiais naturais por drenagem através de geossintéticos.

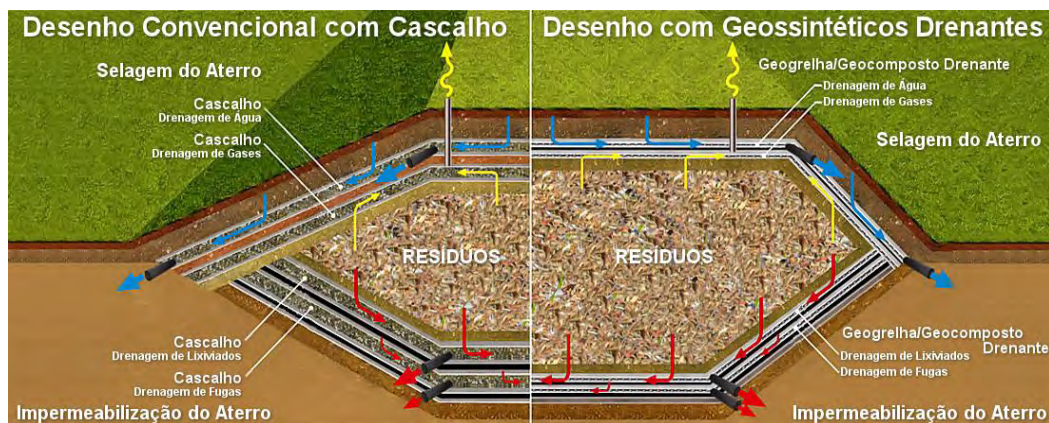


Figura 3.18 – Vantagem do uso de geossintéticos em aterros de resíduos.

Este tipo de geossintéticos pode ser instalado em qualquer classe de aterro desde que a sua utilização seja especificada em projecto ou verificada necessária aquando da realização do mesmo, sendo mais usual a sua utilização em aterros de resíduos perigosos e não perigosos devido à presença de efluentes líquidos (lixiviados) e gasosos (biogás) que são necessários drenar e tratar e menos usuais em aterros de inertes por ausência desses mesmos efluentes.

3.4 GEOTÊXTEIS

3.4.1 TIPOS DE GEOTÊXTEIS

Os geotêxteis distinguem-se pelos elementos que os constituem (as fibras) e também pela sua estrutura, resultante do processo de fabrico.

Os geotêxteis podem agrupar-se essencialmente em dois grandes grupos (Figura 3.19):

- 1) Tecidos: um geotêxtil tecido obtém-se por entrelaçamento, geralmente em ângulo recto, de dois filamentos, de vários feixes de filamentos ou em bandas.
- 2) Não-tecidos: são constituídos por fibras orientadas direccional ou aleatoriamente e ligadas numa estrutura plana. Esta ligação pode ser obtida por processos mecânicos (entrelaçamento dos filamentos provocados por agulhas, designando-se neste caso de agulhagem), químicos (a ligação é feita por colagem das fibras utilizando resinas ou emulsões) ou térmicos (a ligação é feita por fusão parcial das fibras conseguida pela acção conjunta da pressão e temperatura exercida por dois rolos aquecidos).

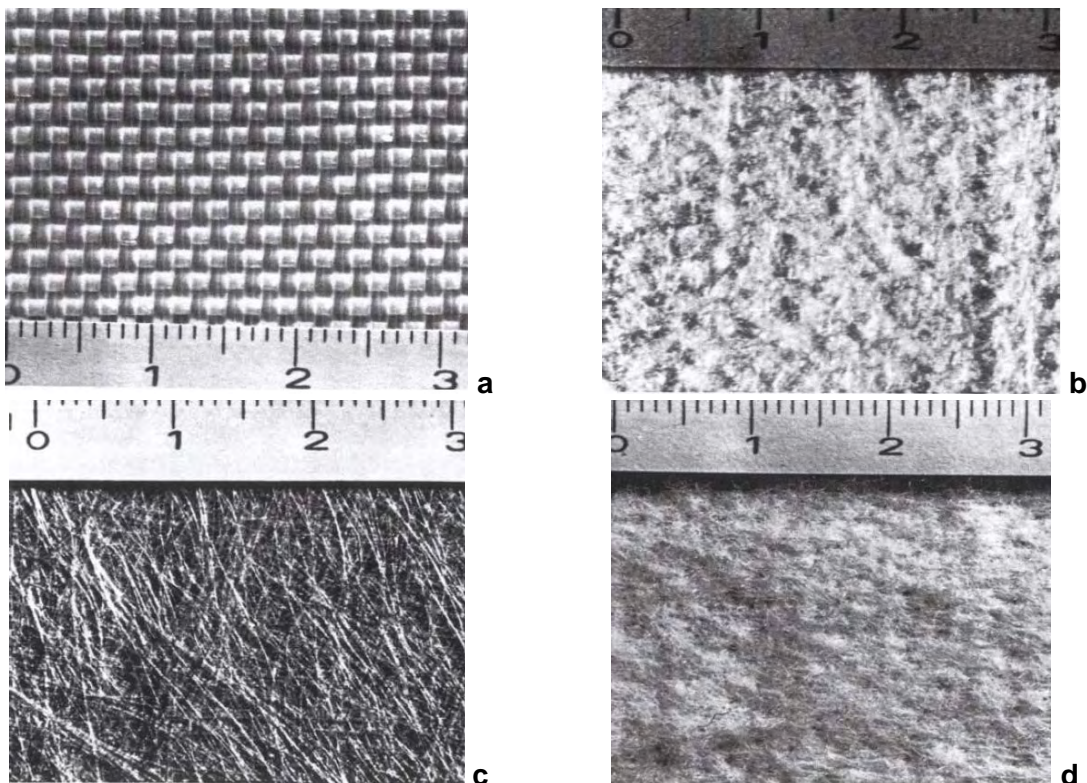


Figura 3.19 – Diferentes tipos de geotêxteis: a) geotêxtil tecido, b) geotêxtil não tecido ligado quimicamente, c) geotêxtil não tecido ligado termicamente, e d) geotêxtil não tecido ligado mecanicamente (por agulhagem).

3.4.2 FUNÇÕES E APLICAÇÕES DOS GEOTÊXTEIS

O desempenho dos geotêxteis assenta essencialmente em cinco funções (Figura 3.20), e que são as seguintes:

- 1) Protecção,
- 2) Separação,
- 3) Filtragem,
- 4) Drenagem,
- 5) Reforço.

Outras funções poderiam ser mencionadas, no entanto essas poderão considerar-se casos particulares das anteriormente apresentadas.

Para que os geotêxteis cumpram as suas funções há uma série de propriedades que eles devem respeitar, no que diz respeito às suas características, como é o caso da sua espessura, massa surfácica, porosidade, transmissividade, permissividade, resistência à tracção, resistência ao rasgamento, resistência ao punçoamento e da deformabilidade. As necessidades sobre aquelas características variam em função da sua aplicação.

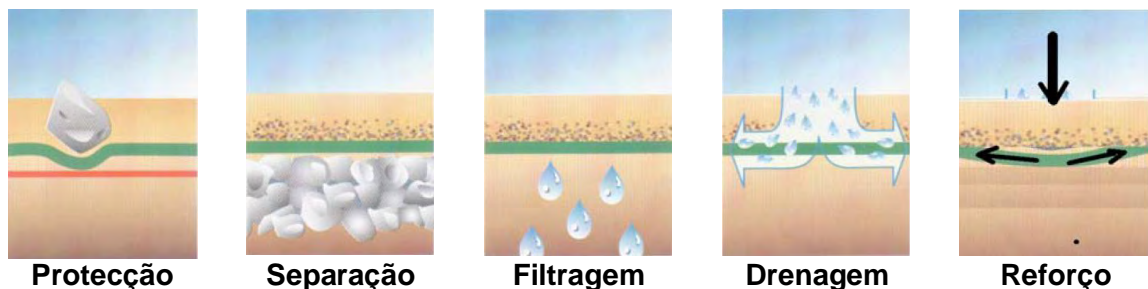


Figura 3.20 – Principais funções dos geotêxteis de modo a cumprirem o seu desempenho.

3.4.2.1 PROTECÇÃO

Com a função da protecção pretende-se que o geotêxtil reduza acções localizadas com finalidade de evitar ou reduzir a danificação de outra superfície ou camada.

Na aplicação de geotêxteis em aterros, estes desempenham funções de protecção (quer superior quer inferiormente à geomembrana, dependendo da tipologia da aplicação) principalmente devido a acções de punçoamento provocadas por materiais de forma angular, protegendo-as de possíveis perfurações (Figura 3.21).

A estrutura do geotêxtil proporciona um efeito de amortecimento, sendo a redistribuição das tensões provocadas pelas cargas, tanto mais eficaz quanto mais espesso e compacto for o geotêxtil. Situação idêntica é aplicada a tanques, canais e lagoas.

Esta protecção pode ser não apenas mecânica mas também, e devido à incorporação do negro de fumo na composição de alguns geotêxteis, proporcionar uma protecção mais eficaz da geomembrana contra os raios ultravioletas, uma vez que na maioria dos casos, esta fica exposta a estes raios durante um longo período de tempo aquando da exploração dos aterros e até que as células construídas estejam completamente cheias de resíduos e esta situação se deixe de verificar. Estes geotêxteis apresentam-se de cor escura (negra) enquanto os restantes podem variar entre a cor branca ou multicolor (dependendo dos materiais com que são constituídos).

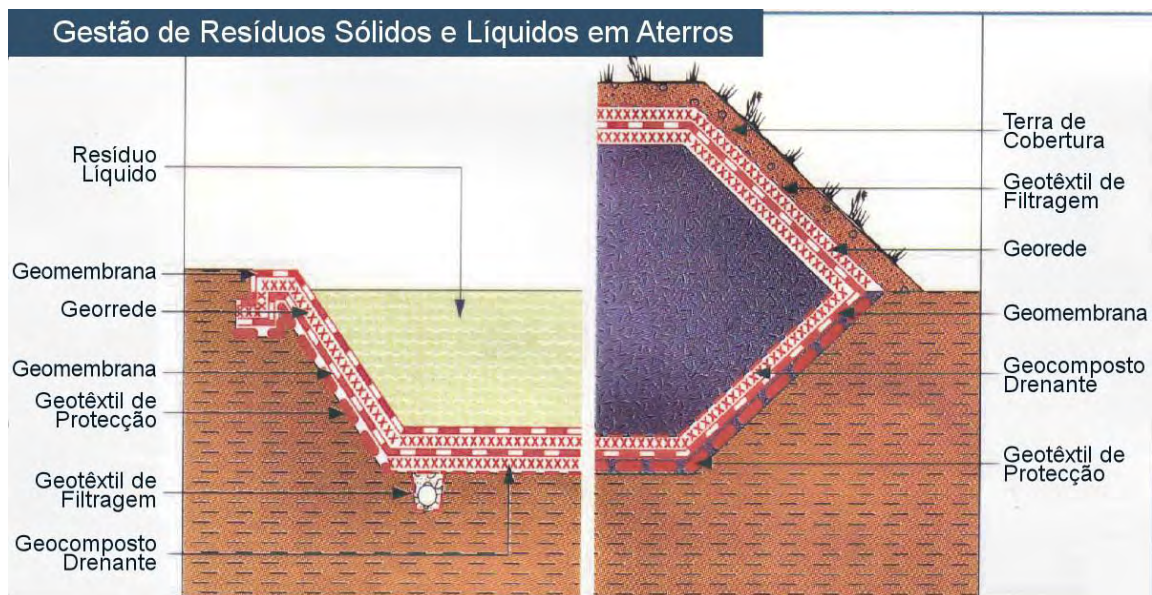


Figura 3.21 – Exemplo de aplicações de geotêxteis com a função de protecção a geomembranas em reservatórios e aterros de resíduos.

3.4.2.2 SEPARAÇÃO

Com a função de separação pretende-se que o geotêxtil separe duas camadas de diferentes materiais, de modo a evitar contaminações, misturas ou até mesmo o seu contacto.

É utilizado muito frequentemente como separador, associado à drenagem e filtragem, e o seu uso na construção de drenos clássicos é muito usual em aterro de resíduos.

De notar que quando se usa o geotêxtil na função de protecção, como se apresentou anteriormente, também se está a usufruir da função de separador.

3.4.2.3 FILTRAGEM

Com a função de filtragem pretende-se que o geotêxtil, ao se deixar atravessar perpendicularmente ao seu plano, permita a passagem de líquidos ao mesmo tempo que impede a passagem das partículas desse solo.

Esta situação é verificada comumente nos aterros, quer na parte superior do material de drenagem colocado no fundo do aterro quer nos drenos efectuados neste (Figura 3.22).

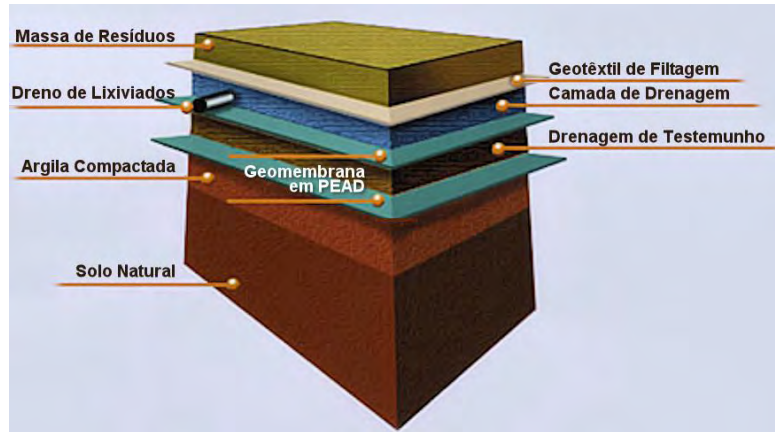


Figura 3.22 – Exemplo de aplicação de geotêxtil de filtragem em aterros.

3.4.2.4 DRENAGEM

Com a função de drenagem pretende-se que o geotêxtil, recolha e transporte fluidos. Utiliza-se com frequência nas valas de drenagem (Figura 3.23) executadas quer no fundo quer nos taludes dos aterros.

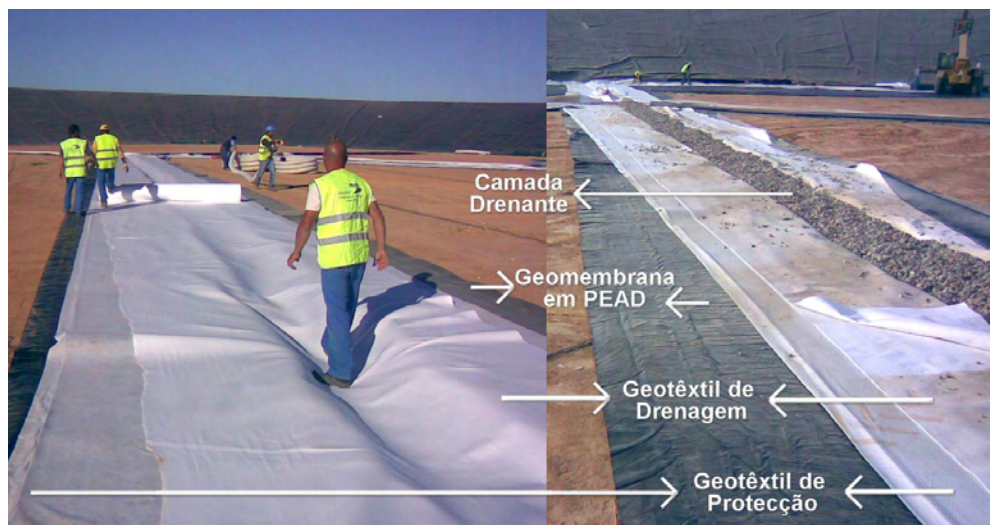


Figura 3.23 – Execução de valas de drenagem no fundo de um aterro.

3.4.2.5 REFORÇO

Com a função de reforço, o geotêxtil usa da sua capacidade de resistência à tracção para resistir a tensões ou restringir deformações nas estruturas geotécnicas. A resistência à tracção permite que os geotêxteis funcionem como armadura, melhorando a qualidade do solo, aumentando a sua capacidade de suporte e estabilidade.

O geotêxtil actua, ao deformar-se, como um distribuidor de cargas sobre uma superfície maior. As propriedades de interface, nomeadamente o atrito entre o solo e o geotêxtil, permitem assegurar uma boa transmissão e repartição das tensões no meio envolvente.

Algumas aplicações de geotêxteis com a principal função de reforço organizam-se em três grandes grupos: i) fundação de aterros ou de qualquer tipo de pavimento sobre solos moles; ii) reforço de aterros e em particular na construção de taludes de aterro e obras de contenção e iii) restauração de pavimentos, intercalando o geotêxtil entre o pavimento fissurado e o novo revestimento.

Este tipo de geossintético pode ser instalado em qualquer classe de aterro desde que a sua utilização seja especificada em projecto ou verificada necessária aquando da realização do mesmo, sendo as suas especificações técnicas, nomeadamente resistência à tracção e ao rasgamento, massa por unidade de área, porometria, espessura, entre outros, definidas em projecto de modo a permitir seleccionar adequadamente os geotêxteis consoante a aplicação e função dos mesmos.

Uma outra função dos geotêxteis é a de condutividade eléctrica (através da adição de substâncias específicas para o efeito) em aplicações de detecção de fugas, como se refere mais detalhadamente no capítulo de qualidade dos geossintéticos.

Tabela 3.1 – Relevância das propriedades dos geotêxteis nas diferentes funções dos mesmos.

Propriedades	Funções				
	Protecção	Separação	Filtragem	Drenagem	Reforço
Espessura	***	*			***
Compressibilidade	*	**			*
Permissividade	**	***			
Transmissividade	***	*			
Porometria	***	***			
Resistência à tracção			*	**	*
Rigidez				***	
Deformação			***	*	*
Resistência ao rasgamento			**	**	***
Atrito				***	**

*** – Muito importante

As características técnicas dos geotêxteis vêm explícitas nas fichas técnicas do fabricante, podendo assim ser identificadas e seleccionadas de acordo com o exigido em projecto (Anexo C – Exemplo de características técnicas de geotêxteis).

3.4.3 INSTALAÇÃO DOS GEOTÊXTEIS

Os geotêxteis devem ser colocados no sentido da máxima inclinação do talude. A sua união pode ser feita por calor (recorrendo ao uso de equipamento específico para o efeito – máquina de ar quente ou de termofusão) ou por sobreposição, sendo o tipo de união e a dimensão da sobreposição definida no projecto.

O sentido correcto da sobreposição do geotêxtil deve ser observado nos casos de lançamento e espalhamento do material de aterro, de enchimento de vala, escoamento da água (caso de vala drenante) e quando há risco de lixiviação e lavagem do solo.

Se durante o transporte, manuseamento ou instalação, o geotêxtil for danificado, deve ser reparado com um remendo de geotêxtil idêntico, numa área que exceda pelo menos 30 cm de cada lado da área afectada e colocado na mesma direcção de fabrico que o painel aplicado. Este deve ser unido por calor na zona danificada de modo a não se deslocar aquando da colocação de material de cobertura.

As figuras a seguir apresentadas mostram a aplicação de geotêxtil em aterros com função de: protecção mecânica da geomembrana na zona basal (Figura 3.24); protecção mecânica e dos raios ultravioletas em taludes (Figura 3.25); e como protecção dos raios ultravioletas em talude de aterro de inertes impermeabilizado com bentonite (Figura 3.26).

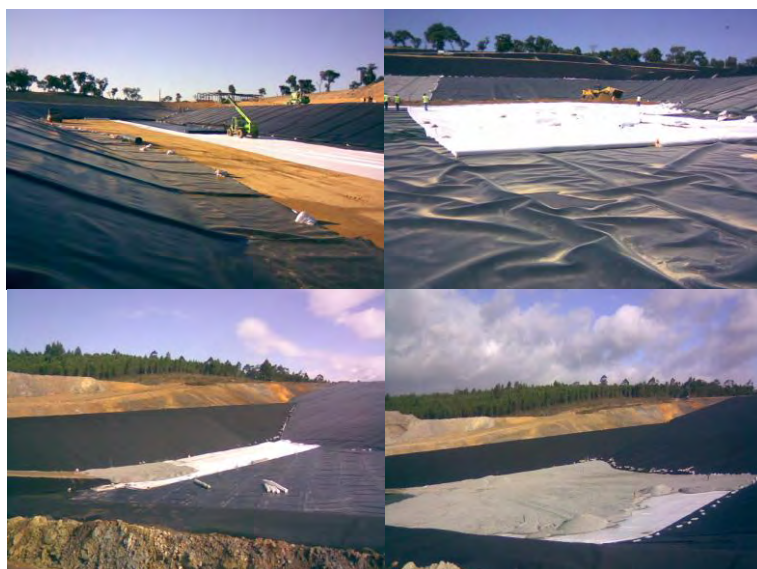


Figura 3.24 – Aplicação de geotêxteis com função de protecção mecânica à geomembrana.



Figura 3.25 – Aplicação de geotêxteis com função de protecção mecânica e aos raios ultravioletas da geomembrana.



Figura 3.26 – Aplicação de geotêxtil de protecção contra os raios ultravioletas em aterro de resíduos inertes.

3.5 GEOCOMPOSTO BENTONÍTICO

3.5.1 GENERALIDADES

O termo “Bentonite” é geralmente aplicado a um material argiloso originalmente associada com os afloramentos Cretácicos de Benton Shale perto de Fort Benton, no Wyoming. Até ao final dos anos 1880, "o barro de mil usos" foi primeiramente chamado de Taylorite, depois de William Taylor um dos primeiros produtores comerciais do produto na área de Rock River, ter começado a comercializar este material. Uma vez que este nome já se encontrava registado, o barro foi renomeado para a formação de Benton na qual o afloramento foi encontrado, tornando-se assim conhecida a hoje utilizada Bentonite.

A bentonite sódica natural é caracterizada por ter o sódio como predominante ião de troca. A bentonite sódica não é um nome mineral, mas mais correctamente uma argila esmectita composto principalmente pelo mineral montmorilonite. O montmorilonite é um mineral de três camadas formado de várias camadas em folhas em tetraedro e octaedro, electrostaticamente mantidos juntos por uma intercamada isomórfica de iões. Como a atracção electrostática é baixa, a exposição a fluidos polares causará a formação de uma treliça (ou sistema triangulado) monomolecular de água entre as camadas de silicato. A base atrás do aumento de volume da bentonite é que várias camadas de bipolos de água podem formar-se em débil “pilha” de estruturas de tetraedros, originando a separação das camadas de silicato.

A pureza da bentonite sódica varia uma vez que a deposição ambiental e os processos de desgaste das rochas subsequentes também variam de acordo com a região e depósito. É comumente distinguida por ter capacidade de aumentar até 1000 % do seu volume natural quando exposta à água. Os geocompostos bentoníticos existentes utilizam uma bentonite sódica com aproximadamente 70-90 % de teor em montmorilonite.

O uso de geocompostos bentoníticos como geossintético utilizado para barreira hidráulica começou em 1988 nos Estados Unidos, quando foi usado pela primeira vez num aterro sanitário sob uma geomembrana. Na mesma época este geossintético começou a ser produzido na Alemanha (Koerner, 1999). Actualmente a maior aplicação dos geocompostos bentoníticos tem sido tanto na base como na cobertura em todas as classes de aterros.

3.5.2 A BENTONITE

3.5.2.1 ESTADO FÍSICO

A bentonite pode ser em pó ou granulada. Uma vez hidratada não existe diferença entre a bentonite em pó e a granulada.

1) Bentonite em pó:

- a) A bentonite apenas precisa de pequenas dilatações para iniciar as suas características de barreira, uma vez que os poros também são pequenos.
- b) Se o geocomposto bentonítico é manuseado de forma abrupta, surgem nuvens de pó mas a quantidade de pó perdido é mínima. Parece pior do que é.

- c) Se são usados aditivos, até são mais fáceis de espalhar uniformemente em pó do que em grânulos.

2) Bentonite granular:

- a) Quanto mais grossos forem os grânulos maiores são os poros. Assim, os líquidos podem passar através dos poros da camada de bentonite granular antes de esta ser hidratada, depois dilata e fecha os poros.
- b) É mais fácil a bentonite granular “seca” perder-se pelas pontas do geocomposto bentonítico do que a bentonite em pó.

3.5.2.2 TIPOS DE BENTONITE

Existem basicamente 3 tipos de bentonite usados com os geocompostos bentoníticos:

- 1) Bentonite Sódica Natural: tem características de dilatação de ≥ 25 ml/2 g. Portanto é considerada como a melhor. É mais estável num ambiente químico. Tem maiores capacidades de absorção de água. O valor K é menor do que 5×10^{-11} m/s (Bishop, 1995).
- 2) Bentonite Cálcica Enriquecida com Sódio (também denominada bentonite sódica – artificial ou activada): é produzida misturando, por exemplo, soda com bentonite cálcica. Nem todos os íons de sódio misturados com o cálcio são absorvidos pela bentonite cálcica. É difícil obter valores K consistentes nos geocompostos bentoníticos fabricados com bentonite cálcica enriquecida com sódio. Num ambiente químico esta bentonite pode tornar-se mais rapidamente numa bentonite cálcica do que uma bentonite sódica natural (Egloffstein, 1997). O índice de dilatação é de cerca de 20 ml/2 g. Os valores de absorção de água são um pouco mais baixos que os da bentonite sódica natural. O seu valor K é menor do que 5×10^{-10} m/s.
- 3) Bentonite Cálcica: o índice de dilatação é de cerca de 10 ml/2 g e a absorção de água é muito mais baixa do que a dos outros dois tipos de bentonite. Não altera as suas características num ambiente químico. O valor K é inferior a 5×10^{-9} m/s.

Alguns fabricantes obtêm valores K mais baixos misturando aditivos à bentonite. Os produtores de geocompostos bentoníticos raramente dão detalhes acerca dos seus aditivos. Alguns aditivos são tóxicos e existem algumas preocupações de que estes aditivos tóxicos possam contaminar a água subterrânea.

Outra preocupação é a distribuição dos aditivos, uma vez que apenas é usado cerca de 1 % do peso total de bentonite. Presentemente não existe forma de controlar se o aditivo é distribuído uniformemente através de cada centímetro quadrado da camada de bentonite. Assim, podem existir zonas onde a permeabilidade é maior do que a esperada. Parece já não existirem vantagens a longo prazo para os geocompostos bentoníticos que usam tais aditivos.

3.5.2.3 MASSA DA BENTONITE

A massa da bentonite num geocomposto bentonítico é uma das suas características mais importantes e é melhor definida em termos de massa seca. Isto evita questões da quantidade de mistura realmente usada no geocomposto bentonítico. A massa seca pode ser definida como a massa depois de 5 horas de secagem a 105 °C. A massa mínima de bentonite seca de um geocomposto bentonítico normalmente não é menor do que 3000 g/m². Se apenas a massa da bentonite é definida num geocomposto bentonítico sem um limite de conteúdo de mistura, é possível a um geocomposto bentonítico com um baixo conteúdo de bentonite mas com um elevado conteúdo de mistura, ser declarado equivalente a um geocomposto bentonítico com uma elevada massa de bentonite mas com um conteúdo de mistura baixo. Tais geocompostos bentoníticos aparentemente “equivalentes”, obviamente não o são. Por exemplo, uma massa bentonítica seca de 4000 g/m² com 15 % conteúdo de mistura tem uma massa molhada de 4800 g/m²; uma massa seca de 2500 g/m² com 48 % conteúdo de mistura também tem uma massa de bentonite molhada de cerca de 4800 g/m². Estes dois geocompostos bentoníticos, contudo, não deviam ser considerados como sendo equivalentes, apesar de a massa de “bentonite molhada” ser a mesma.

3.5.3 CARACTERÍSTICAS

Os geocompostos bentoníticos podem ser definidos como uma barreira hidráulica geossintética que consiste em argila bentonítica sódica envolvida por geotêxteis unidos somente nas bordas ou ao longo de toda a superfície através de agulhamento ou ponteameto; podendo também ser aderida a geomembranas por adesivos químicos. São apresentados em bobines com largura e comprimento em torno de 5 e 50 metros, respectivamente, e geralmente usados como alternativa em substituição à camada de argila compactada ou como camada complementar em sistemas compostos por vários

geossintéticos mais camada de argila compactada. O peso de argila bentonítica é da ordem de 5 kg/m^2 , com teor de humidade de 10 a 20 %, podendo também ser fornecida seca.

Uma das principais características da bentonite é sua habilidade de expansão, quando em contacto com líquidos, bem como de auto-cicatrização, que não é comparável à mesma habilidade da argila compactada (Boardman and Daniel, 1996).

Quando hidratada sob confinamento, a bentonite expande-se formando uma camada de baixa permeabilidade, que funciona como protecção hidráulica similar a vários centímetros de argila compactada. O comportamento dos geocompostos bentoníticos, tanto no estado seco como húmido, e também da argila compactada, utilizados como função de barreira de baixa permeabilidade, deve ser tal, que após experimentar um ou mais ciclos de humedecimento e secagem a sua permeabilidade se mantenha inalterada.

A permeabilidade dos geocompostos bentoníticos é da ordem de 10^{-9} cm/s , para os envolvidos em geotêxtil e de 10^{-12} cm/s para os aderidos a geomembrana.

Na escolha de um geocomposto bentonítico existem três propriedades básicas a ter em consideração:

- 1) A resistência mecânica durante a colocação em obra;
- 2) A estabilidade em taludes ou sob cargas;
- 3) A eficiência de impermeabilização, a longo prazo.

Os geocompostos bentoníticos não são concebidos para funcionar como reforço juntamente com um sistema de impermeabilização. Se estes ficam sujeitos a uma tensão, deformar-se-ão. Se a tensão for maior do que a capacidade do componente geotêxtil de um lado, este irá romper permitindo à bentonite escapar e o propósito do geocomposto bentonítico perde-se.

Portanto a resistência à tracção, não deverá ser um ponto primário de comparação mas sim a deformação ou a sua influência na permeabilidade.

Os componentes geossintéticos presentemente usados nos geocompostos bentoníticos são:

- 1) Geotêxteis agulhados;
- 2) Geotêxteis tecidos;
- 3) Geomembranas;

4) Telas plásticas.

Os objectivos destes componentes são,

- 1) Manter a camada bentonítica confinada no geocomposto bentonítico:
 - a) Durante o transporte para o local de instalação;
 - b) Durante a sua instalação;
 - c) Durante a instalação do material de cobertura;
 - d) Durante o tempo de vida do projecto;
- 2) Evitar a perda de bentonite:
 - a) Através do escape físico do geocomposto bentonítico quando a bentonite se encontra armazenada e ainda por aplicar;
 - b) Através da compressão através dos geossintéticos quando a bentonite hidratada está sob a pressão da sobrecarga;
 - c) Através da compressão devido às vibrações do tráfego;
 - d) Através dos movimentos dos líquidos pelo geocomposto bentonítico e no material de cobertura, lavando a bentonite para o exterior do geocomposto bentonítico.

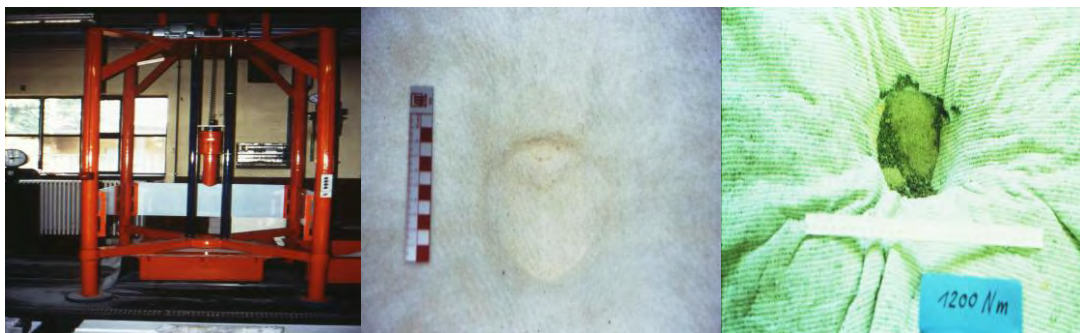


Figura 3.27 – Testes de impacto, usando este equipamento, mostram que alguns geocompostos bentoníticos são mais robustos do que outros.

- 3) Não deformar ou perfurar:
 - a) Quando está a ser puxado para instalação;
 - b) Quando está em contacto com o solo ou com um material por debaixo deste e sujeito a tráfego para a instalação e à sobrecarga final;
 - c) Quando o material de cobertura está a ser instalado (incluindo geomembranas rugosas);
 - d) Quando sujeitos a vibrações do tráfego;

- e) Quando os materiais de cobertura são puxados para cima do geocomposto bentonítico por forças estáticas;
 - f) Quando da ocorrem abatimentos por debaixo do geocomposto bentonítico;
 - g) Quando sujeito a forças de tracção, por exemplo em taludes;
 - h) Quando sujeito a forças de corte.
- 4) Absorver as forças de corte de superfície e transmiti-las para a camada por baixo:
- a) Das superfícies lisas de geomembranas que têm o ângulo de fricção mais baixo contra solos e outros geossintéticos;
 - b) Dos geotêxteis tecidos que têm um melhor ângulo de fricção;
 - c) Dos geotêxteis tecidos onde fibras do sistema de produção do geocomposto bentonítico foram tratadas por aquecimento, que têm um melhor ângulo de fricção;
 - d) Das superfícies com maiores ângulos de fricção com o geocomposto bentonítico são obtidos com componentes geotêxteis agulhados não tecidos.

Se os componentes dos geotêxteis não são especificados então os técnicos responsáveis devem verificar se os componentes do geotêxtil do geocomposto bentonítico proposto são capazes de suportar as condições esperadas no aterro em questão. Os pontos mencionados acima podem ser usados como referência. Para completar, recomenda-se que os técnicos responsáveis verifiquem uma grande amostra do geocomposto bentonítico que está a ser considerado (por exemplo 50x50 cm). Se tal amostra for fornecida com as suas pontas seladas por solda, fitas ou adesivos, estes devem ser removidos ou cortados para uma análise correcta da performance do geocomposto bentonítico. Os rolos fornecidos em obra não têm as pontas seladas desta forma.

3.5.4 TIPOS DE GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICOS

De acordo com a maneira como são fabricados, os geocompostos bentoníticos podem ser reforçados ou não. Em taludes é recomendável o uso dos geocompostos bentoníticos reforçados, que possuem maior resistência ao corte. Nas figuras a seguir são apresentados os tipos de geocompostos bentoníticos disponíveis no mercado internacional e os respectivos métodos de junção (Koerner, 1999).

3.5.4.1 ADESIVOS

Os adesivos são adicionados à bentonite para manterem os seus componentes juntos. Logo que a bentonite hidrate o adesivo dissolve-se, perdendo os seus poderes adesivos, contando unicamente com as forças de capilaridade para evitar que os componentes se separem. A resistência ao corte interno da bentonite hidratada é de cerca 8°. Com tais produtos, são necessários cuidados especiais no seu manuseamento, instalação e nas pressões exercidas no geocomposto bentonítico de modo a evitar que a bentonite migre dentro do plano do geocomposto bentonítico, criando áreas onde não exista o efeito de barreira.



Figura 3.28 – Argila Bentonítica envolvida por dois Geotêxteis.



Figura 3.29 – Argila Bentonítica aderida a uma Geomembrana.

3.5.4.2 COSTURA

Este processo envolve agulhas com linha nas duas faces do geocomposto bentonítico. Durante a produção, estas encontram-se para formar uma costura através do geocomposto bentonítico. Presentemente esta costura é utilizada somente na direcção da produção. Se as agulhas não se encontrarem correctamente, não se forma a costura. A distância entre costuras varia entre 25 mm e 100 mm. É possível a bentonite mover-se livremente entre estas costuras. Forças de corte são apenas transferidas através do produto na direcção da costura, sendo necessário preparar cautelosamente a direcção da instalação, nomeadamente nos taludes.



Figura 3.30 – Argila Bentonítica ponteadada entre dois Geotêxteis.

3.5.4.3 AGULHAGEM

Este processo envolve um conjunto especial de agulhas farpadas que são empurradas através da camada superior de um geotêxtil agulhado (um “reservatório” de fibras), através da camada de bentonite e até ao geotêxtil suporte. Quando o conjunto de agulhas é removido, devido às farpas especiais, as fibras mantêm-se, segurando os componentes. Este processo coloca a bentonite sob uma pressão, o que aumenta a sua performance (Heerten et al., 1995). Algumas empresas tratam por aquecimento as fibras salientes, aumentando portanto esta pressão na bentonite. Este método também aumenta a resistência ao corte interno do geocomposto bentonítico (Seibken et al., 1996), bem como aumenta o ângulo de fricção com o material adjacente. As ligações das fibras também evitam a migração da bentonite ao longo do geocomposto bentonítico (evitam a erosão interna). As forças de corte podem ser transferidas através do geocomposto bentonítico, independentemente da direcção em que este é instalado (Richardson et al., 1998).

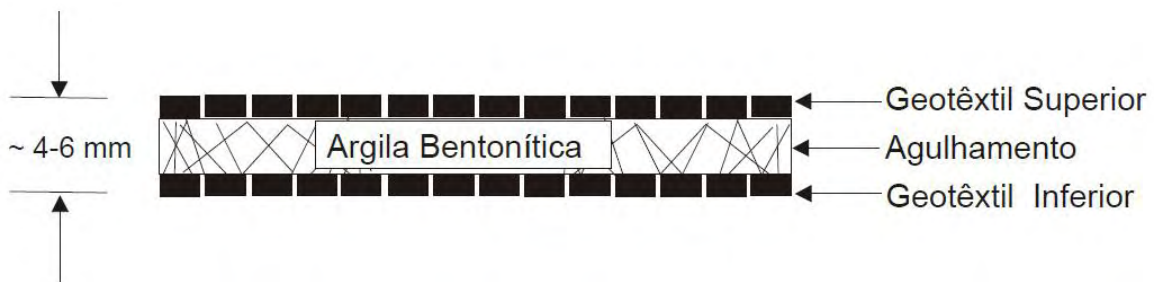


Figura 3.31 – Argila Bentonítica agulhada entre dois Geotêxteis.

3.5.4.4 SOLDADURA A QUENTE

Este processo faz com que as fibras plásticas, que estão salientes da camada de bentonite, sejam fixadas, por um processo de aquecimento, ao geotêxtil a colocar por cima da bentonite. A força de corte interno é grandemente influenciada pela bentonite, reduzindo a quantidade de energia de aquecimento que alcança as fibras salientes.

Movimentos da bentonite entre os geotêxteis superior e inferior foram verificados em testes de laboratório de tais produtos.



Figura 3.32 – Exemplo de um geocomposto bentonítico com argila bentonítica entre dois geotêxteis.

As características técnicas dos geocompostos bentoníticos vêm explícitas nas fichas técnicas do fabricante, podendo assim ser identificadas e seleccionadas de acordo com o exigido em projecto (Anexo D – Exemplo de características técnicas de um geocomposto bentonítico).

3.5.5 PROPRIEDADES RELEVANTES

Uma vez que a função principal dos geocompostos bentoníticos é de barreira hidráulica, a sua hidratação e consequente expansão são parâmetros importantes e críticos para o seu bom desempenho. Os geocompostos bentoníticos podem ter uma hidratação diferenciada dependendo da natureza do líquido em contacto. Assim sendo, serão diferentemente hidratados quando em contacto com água pura, águas pluviais, lixiviado e não são hidratados quando em contacto com derivados de petróleo, devendo neste caso ser pré-hidratados.

3.5.5.1 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

A condutividade hidráulica dos geocompostos bentoníticos é da ordem de 10^{-9} cm/s, para aqueles envolvidos em geotêxtil e de 10^{-12} cm/s para os aderidos a geomembrana. Esta propriedade não apresenta diferenças significativas entre os geocompostos bentoníticos fabricados no mercado internacional, segundo dados experimentais, excepto para os geocompostos bentoníticos com geomembranas. Ainda segundo pesquisas realizadas, nas emendas a condutividade não fica comprometida (MBG, 2004).

3.5.5.2 RESISTÊNCIA AO CORTE

A argila bentonítica, quando hidratada, apresenta baixa resistência ao corte. O reforço introduzido pelo agulhamento entre os geotêxteis das duas faces do geocomposto bentonítico, geralmente resolve este problema, no entanto a instalação e as condições da obra durante a sua vida útil, não devem alterar as condições do produto.

A resistência de interface entre o geocomposto bentonítico e o material adjacente (geotêxtil ou geomembrana) também é um factor importante a ser considerado no projecto que especifica este geossintético.

3.5.5.3 AUTOCICATRIZAÇÃO

A excelente capacidade de expansão da bentonite sódica, que constitui o geocomposto bentonítico, faz com que nos locais de eventuais furos de pequeno tamanho, resultantes de danos de instalação haja uma autocicatrização, com consequente desaparecimento do dano. Também nos ciclos de secagem e humedecimento do geocomposto bentonítico, quando na secagem ocorrem trincas, devido à capacidade de autocicatrização deste geossintético há recuperação das propriedades hidráulicas, quando se dá nova hidratação (MBG, 2004).

3.5.6 FUNÇÕES E APLICAÇÕES DOS GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICOS

Os geocompostos bentoníticos substituem com grandes vantagens a argila compactada em obras como:

- 1) Aterros de resíduos perigosos ou não perigosos (revestimento da base e cobertura);
- 2) Aterros de inertes;
- 3) Protecção secundária em armazenamento de combustíveis;
- 4) Reservatórios de água e lagoas ornamentais;
- 5) Revestimento em obras de construção civil (tais como pontes, estradas, aeroportos, entre outros).

As principais funções exigidas às barreiras bentoníticas quando utilizadas em infra-estruturas ambientais são:

- 1) Reduzida permeabilidade;
- 2) Resistência às acções mecânicas;
- 3) Deformabilidade adequada e reduzida retracção;
- 4) Expansibilidade e aptidão para auto-selagem de fendas;
- 5) Elevada capacidade de atenuação dos poluentes;
- 6) Durabilidade física e química;
- 7) Capacidade de distribuição de esforços, quando forem camadas basais de protecção;
- 8) Estabilidade de filtro, quando forem camadas de capeamento;
- 9) Trabalhabilidade e adequado endurecimento, quando forem cortinas verticais.

Embora os geocompostos bentoníticos possam ser utilizados como revestimento único, tem sido mais frequente o seu uso em sistemas compostos de revestimentos geossintéticos com geomembranas e geocompostos drenantes, tanto na base como na cobertura de aterros de resíduos.

O geocomposto bentonítico, como foi referido anteriormente pode ser utilizado individualmente, por exemplo na impermeabilização de aterros de inertes como se pode verificar na Figura 3.33.



Figura 3.33 – Exemplo de aplicação de geocomposto bentonítico em aterro de inertes.

Num sistema composto, usualmente o geocomposto bentonítico é colocado sob a geomembrana, substituindo a camada de argila compactada.

Num sistema duplo, o geocomposto bentonítico pode compor o revestimento primário (superior) com uma geomembrana, o revestimento secundário sendo constituído por uma

geomembrana e uma camada de argila compactada. A redução de lixiviado infiltrado em obras executadas com a composição geomembrana/geocomposto bentonítico em relação a uma única geomembrana ou a composição geomembrana/argila compactada é significativa (Koerner, 1999). No caso de somente uma geomembrana sobre uma camada drenante, a ocorrência de furos direcciona o lixiviado para o sistema drenante e, caso este não exista, contaminará o solo de apoio da geomembrana. Na composição geomembrana/argila compactada é difícil distinguir se a água é resultante do adensamento da camada ou se é proveniente de vazamento do lixiviado.

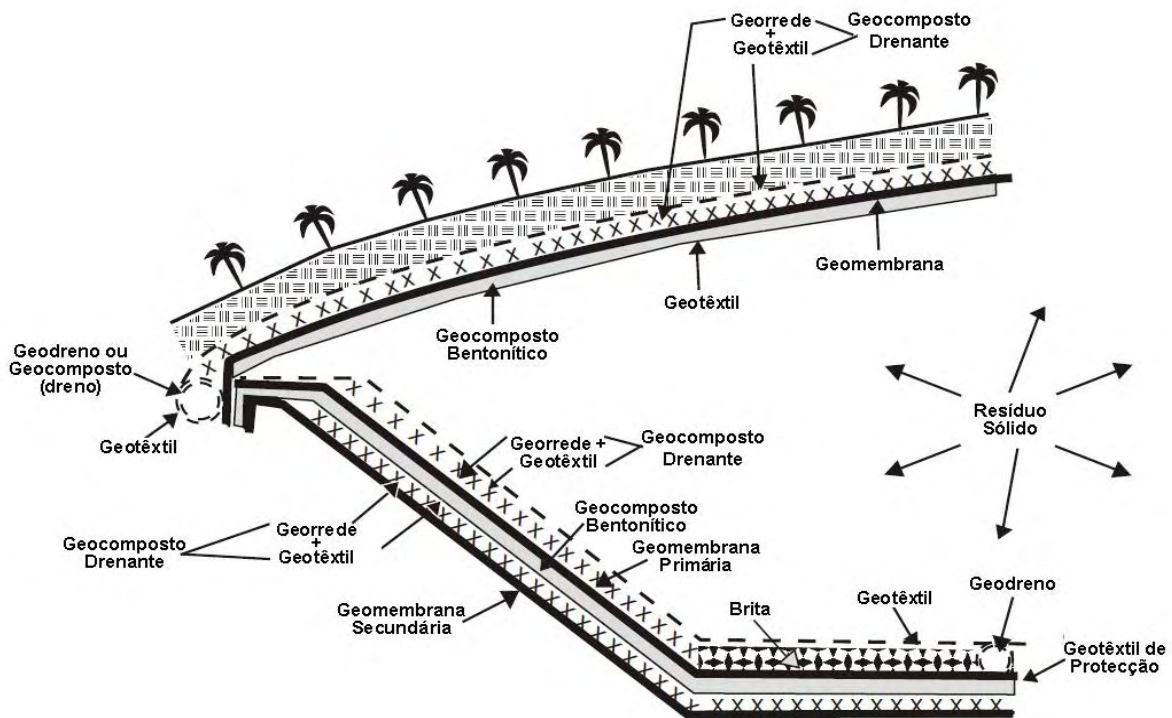


Figura 3.34 – Exemplo de aplicação de geocomposto bentonítico em sistema composto com uma geomembrana na cobertura e em sistema duplo de revestimento de base de célula de resíduos.

No conjunto geomembrana/geocomposto bentonítico, o geocomposto bentonítico é instalado seco, portanto absorve qualquer vazamento através de furos ou defeitos da geomembrana, resultando na maioria dos casos quase nenhum vazamento que ultrapasse o geocomposto bentonítico (Figura 3.35).

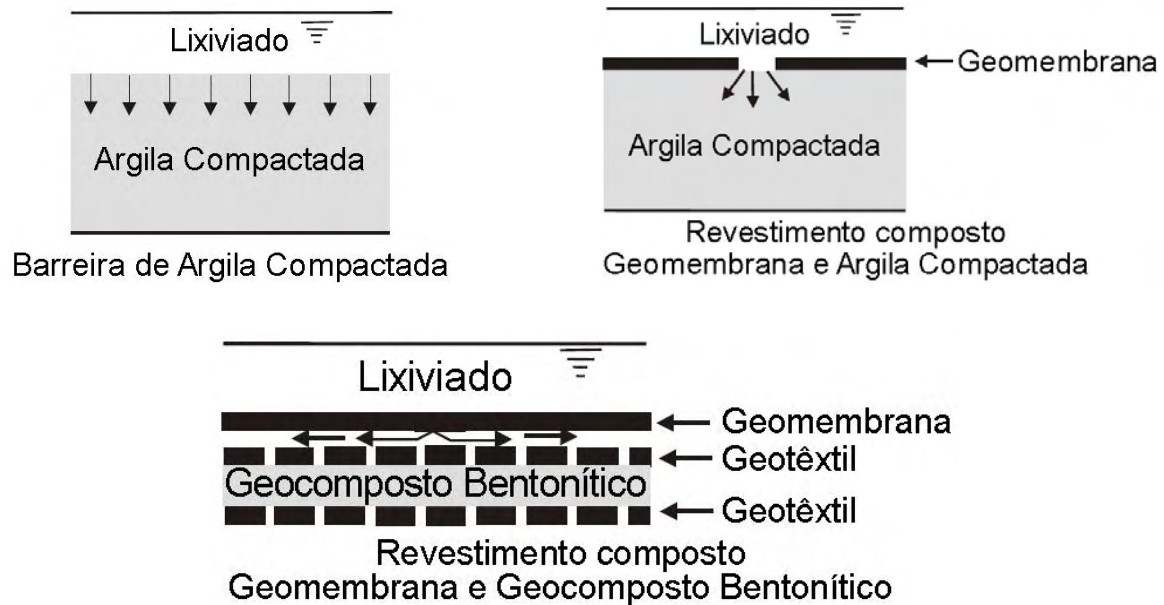


Figura 3.35 – Segurança revelada na evolução dos sistemas de impermeabilização em aterros desde a utilização simples de argilas até à integração de geomembranas e geocompostos bentoníticos.

3.5.7 VANTAGENS DO USO DOS GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICOS

Apresentam-se de seguida algumas vantagens do uso de geocompostos bentoníticos em relação à argila compactada.

- 1) Produto industrializado fornecido em bobinas, portanto menor tempo e custo de instalação.
- 2) Menor custo de fornecimento, quando não há jazida de argila próxima da obra.
- 3) Os geocompostos bentoníticos não são susceptíveis a trincamento como a argila compactada, na qual as trincas alteram o grau de protecção da barreira, quando ocorrem recalques.
- 4) Aumento da capacidade de armazenamento da vala ou da bacia de deposição dos resíduos.
- 5) Não causa dano ambiental como na extracção de argila na jazida.

3.5.8 INSTALAÇÃO DOS GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICOS

A instalação dos geocompostos bentoníticos é efectuada por sobreposição mínima de 20 cm (Figura 3.36), devendo para tal ser utilizada uma máquina de movimentação de cargas (tipo multifunções), que auxiliará o desenrolar do material (Figura 3.37).



Figura 3.36 – Sobreposição da bentonite e aplicação de bentonite em pó nas juntas.



Figura 3.37 – Aplicação de geocompostos bentoníticos recorrendo ao auxílio de um multifunções.

Durante a colocação deverá evitar-se que o material seja afectado por sujidade (principalmente nas juntas de sobreposição), humidade ou elementos cortantes (pedras, etc.).

Este material não poderá ser aplicado sobre solos saturados ou com humidade excessiva, bem como em condições atmosféricas de chuva. Trata-se de um material que absorve água, que provoca a sua dilatação, não provocando, no entanto, alterações quanto ao comportamento impermeabilizante. No caso do material aplicado ser hidratado pela presença de água deverá evitar-se a circulação de maquinaria pesada sobre a sua superfície.

Quando aplicados em taludes, as juntas de sobreposição são orientadas paralelamente à sua linha de maior declive.

As emendas dos geocompostos bentoníticos são executadas por sobreposição de no mínimo 15 cm nas zonas danificadas, colocando-se bentonite em pó, na quantidade indicada pelo fabricante, entre as extremidades dos dois painéis a serem unidos (Figura 3.38).

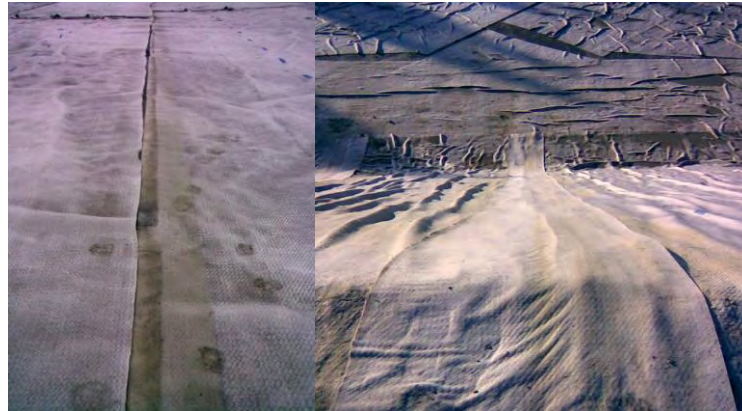


Figura 3.38 – Reparação de geocomposto bentonítico.

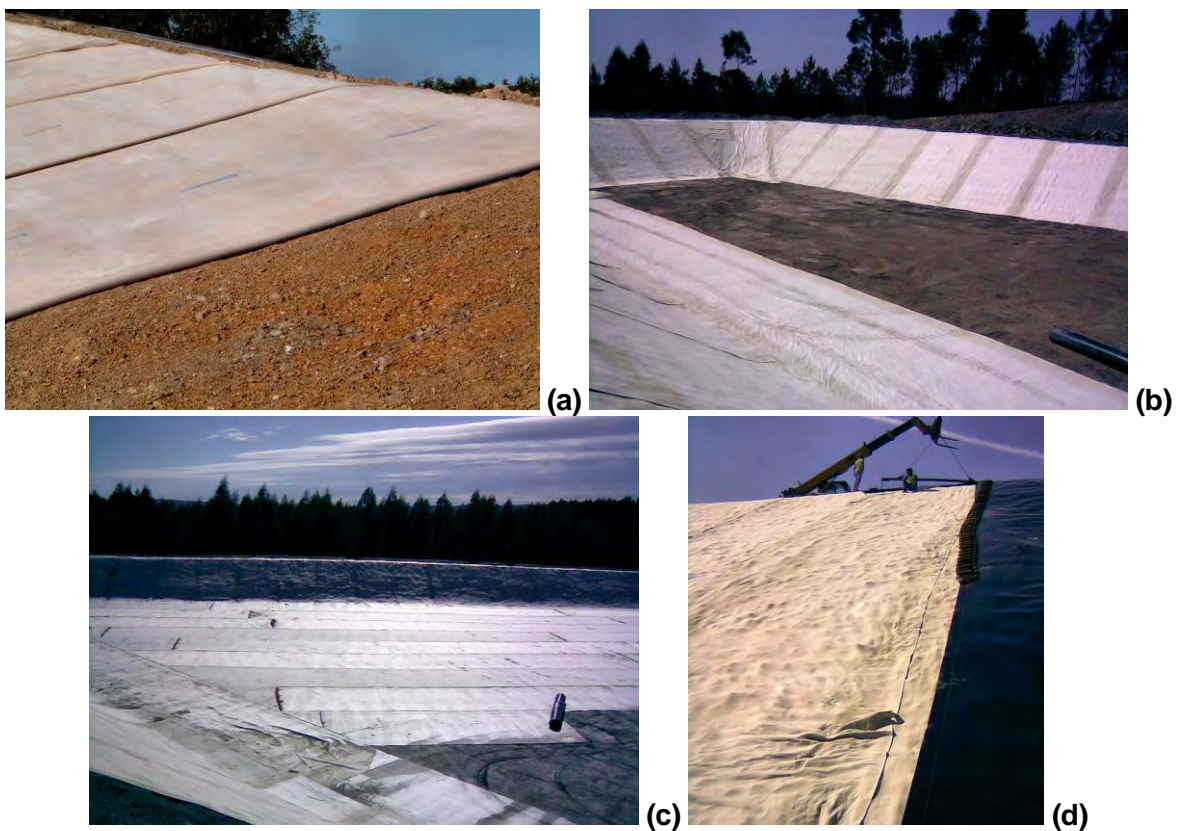


Figura 3.39 – Exemplos de aplicação de geocompostos bentoníticos em aterros de resíduos (a-d) e como protecção à geomembrana (d).

3.6 GEOMEMBRANA

3.6.1 CARACTERÍSTICAS

A geomembrana utilizada na impermeabilização é constituída por PEAD, que é produzido pela polimerização do etileno a baixa pressão, com copolímeros e catalisadores

específicos, resultando um polímero de alto peso molecular e de excelentes propriedades físico-químicas.

As geomembranas de PEAD possuem aproximadamente 97,5 % de polietileno virgem, na sua constituição, 2,5 % de negro de fumo e traços de termoestabilizantes e antioxidantes. Nenhum outro tipo de aditivo é usado. O negro de fumo é responsável pela resistência aos raios ultravioleta e os termoestabilizantes e antioxidantes aumentam significativamente a resistência às intempéries, calor e resistência à degradação. Podem ser plastificadas termicamente e são apenas juntas por soldagem. Este material é sujeito ao mais rigoroso controlo de qualidade, uma vez que só assim se pode garantir a sua funcionalidade.

A alta flexibilidade e a resistência química e mecânica, ao impacto e à abrasão são características intrínsecas do PEAD, não necessitando de plastificantes e outros aditivos que tendem a emigrar com o tempo, tornando os materiais frágeis e quebradiços.

Possui alta resistência ao tenso-fissuramento (*stress cracking*), suportando bem a acção de agentes tensoactivos. O PEAD é absolutamente atóxico e desconhecem-se ataques de microrganismos, bactérias ou mesmo roedores.

A soldabilidade do PEAD é notória e imbatível entre os termoplásticos. A soldadura é executada a quente em dupla pista, por termofusão, que resulta em soldas extremamente seguras. Não se consegue soldar o PEAD com solventes ou colas, devido à sua alta resistência química. A sua apolaridade molecular e grande estabilidade química oferecem um baixíssimo efeito de incrustação.

O PEAD é insolúvel em todos os solventes orgânicos e inorgânicos sendo somente atacado à temperatura ambiente, após longo período, por oxidantes muito fortes ($\text{HNO}_3 \geq 50\%$, água régia). Os halogéneos em estado livre (cloro, bromo, etc.) formam à temperatura ambiente polietileno halogenado. A estrutura da geomembrana não é destruída, mas ocorrem modificações nas suas propriedades físicas e químicas.

Deve-se evitar também armazenar, em contacto directo com a geomembrana, produtos em alta concentração, como o tetracloreto de carbono, dissulfeto de carbono, clorofórmio, flúor, trióxidos enxofre, tolueno, xileno, tricloroetileno. Em combustão, o PEAD desprende CO (monóxido de carbono), CO_2 (dióxido de carbono) e H_2O (água), porém nenhum gás tóxico ou corrosivo.

Revestimento, isolamento, flexibilidade, resistência à corrosão e abrasão, resistência química, resistência mecânica, boa soldabilidade e longa vida útil são os principais

desafios que as geomembranas em PEAD podem superar, formando um conjunto de características de grande destaque em relação aos outros tipos de geomembrana.

As geomembranas podem apresentar diferentes características nas suas propriedades físicas (espessura e peso específico), mecânicas (resistência à tracção, ao rasgamento, ao punçoamento, extensão) e operacionais (temperatura mínima, teor em negro de fumo, estabilidade dimensional, entre outras), deste modo podemos ter geomembranas em PEAD com desde 1,0 mm a 2,5 ou mais e estas podem apresentar-se de várias texturas, tais como, lisa, pitonada ou rugosa (estas últimas são aplicadas quando há necessidade de maior resistência à tracção devido à existência de terreno com muita inclinação, uma vez que a rugosidade da geomembrana aumenta essa mesma propriedade). Na Figura 3.40 podem-se ver exemplos dos vários tipos de geomembranas que hoje se encontram no mercado, havendo, como é evidente, dentro destas toda uma gama de soluções técnicas pelas quais se podem optar dependendo das definições e dimensionamento de projecto.

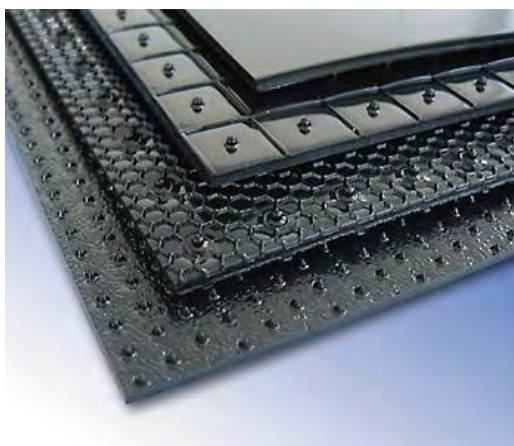


Figura 3.40 – Diferentes texturas das geomembranas em PEAD existentes no mercado.

As características técnicas das geomembranas vêm explícitas nas fichas técnicas do fabricante, podendo assim ser identificadas e seleccionadas de acordo com o exigido em projecto (Anexo E – Exemplo de características técnicas de uma geomembrana lisa).

3.6.2 *ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DA GEOMEMBRANA*

A geomembrana é fornecida em rolos que variam entre 4,7 e 9,4 m de largura, 120 e 200 m de comprimento e espessuras que variam entre 1,0 a 2,5 mm. Assim, o peso destes rolos varia também entre os 1.000 e 3.000 kg, pelo que se torna necessário o uso de material e equipamentos específicos e seguros.

No armazenamento, deve-se evitar o esmagamento dos rolos. Para isso, devem-se empilhar num máximo de dois ou três níveis de rolos.



Figura 3.41 – Armazenamento adequado da geomembrana.

A movimentação dos rolos em estaleiro efectua-se por meio de uma retroescavadora, com a ajuda de uma canga ou de cintas específicas e com capacidade para o seu transporte (Figura 3.42).



Figura 3.42 – Transporte adequado e inadequado de geomembranas.

3.6.3 PROCESSOS DE SOLDADURA

Como processo de junções aplicáveis nos aterros geomembranas em PEAD, utiliza-se geralmente a soldadura por extrusão com gás quente, a solda por cunha quente e por revestimento através de gás quente.

Para a soldadura por extrusão de gás quente, utilizam-se aparelhos de solda manuais, para a soldadura por cunha quente e de revestimento com gás quente, utilizam-se exclusivamente máquinas automáticas.

As soldaduras são realizadas por termofusão, recorrendo à soldadura dupla. O tipo de máquina empregue para a solda depende da espessura da geomembrana e do tipo e tamanho da obra. Além da escolha do equipamento adequado, é muito importante a experiência do soldador, para que sejam atendidos os requisitos necessários a uma boa soldadura.

3.6.3.1 SOLDADURA DUPLA

É realizada através de máquina autopropulsora dotada de cunha e/ou de sistema gerador de ar quente. Possui controlo automático de velocidade e temperatura, os quais podem ser ajustados de 0,5 a 3,5 m/min e de 20 a 650 °C, respectivamente. A pressão de soldadura é constante e pode ser ajustada linearmente, de acordo com o tipo do polímero da geomembrana que está a ser soldada. As máquinas automáticas possuem mostrador digital de visualização simultânea da temperatura, da velocidade e da pressão de soldadura. Um microcontrolador controla a temperatura e a velocidade de solda, as quais se mantêm constantes mesmo quando submetidas a flutuações de tensão, ondulações ou inclinações da superfície de apoio e variações da temperatura ambiente. A autopropulsão, aliada ao pequeno peso destas máquinas, permite a execução de soldas em posições inclinadas ascendentes e até mesmo verticais.

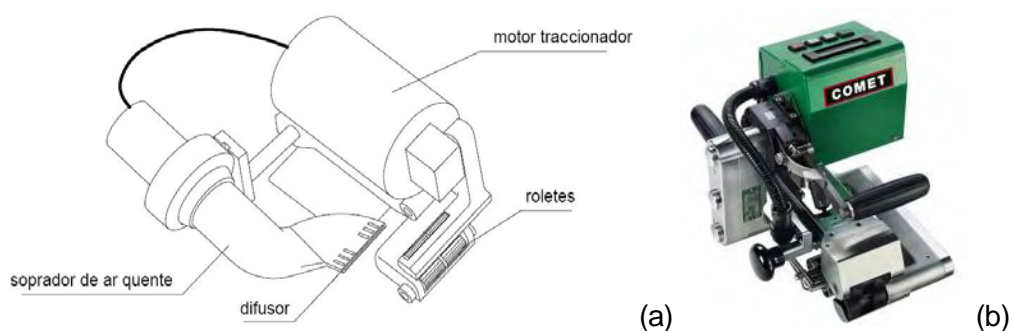


Figura 3.43 – Representação esquemática de uma máquina de soldadura dupla (a) e imagem real da mesma (b).

A soldadura dupla contém um canal central, através do qual se faz o ensaio não destrutivo de pressão, para verificar a sua estanqueidade.

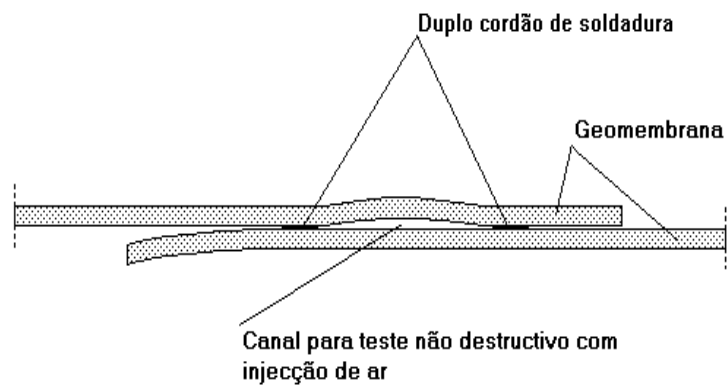


Figura 3.44 – Representação esquemática de uma soldadura dupla com o canal de comprovação de estanquicidade.

A tabela seguinte apresenta as características básicas das máquinas de soldadura dupla.

Tabela 3.2 – Características básicas das máquinas de soldadura dupla.

Parâmetros	Valores	
Espessura da geomembrana	0,8 a 2,0 mm	1,5 a 0,1969 in
Tensão/potência	220 V/2.200 W	220 V/5.800 W
Peso	4,7 a 7,5 kg	12,5 a 32 kg
Temperatura	ajustável de 20 a 600 °C	ajustável de 20 a 650 °C
Velocidade	ajustável de 0 a 3,5 m/min	1,5 a 5 mm

Este processo apresenta ainda as seguintes características:

- 1) Solda-se sem produto de aplicação.
- 2) As superfícies a soldar são plastificadas pelo contacto directo com a cunha de aquecimento.
- 3) O esforço de soldadura é aplicado imediatamente depois da fusão das superfícies a soldar.
- 4) As máquinas de soldar estão equipadas com um sistema de pressão de efeito duplo para a aplicação do efeito de soldagem
- 5) A rapidez, a temperatura da cunha de aquecimento e o esforço de solda devem ser regulados separadamente dentro da gama de parâmetros precisos, estes parâmetros devem poder ser conferidos ou regulados e afixados.

- 6) A temperatura da cunha de aquecimento, o esforço de solda e a rapidez da soldadura são fixados conforme o material das geomembranas e as condições exteriores.

A Figura 3.45 apresenta este processo de soldadura onde as geomembranas são inseridas na máquina em locais apropriados (a), a cunha é puxada para a frente e os roletes cerrados (b e c) sendo assim a geomembrana soldada, pela pressão exercida pela máquina e pela temperatura seleccionada. Esta deslizará depois pela geomembrana, com o auxílio dos roletes propulsores da máquina, para a soldadura da mesma (d).

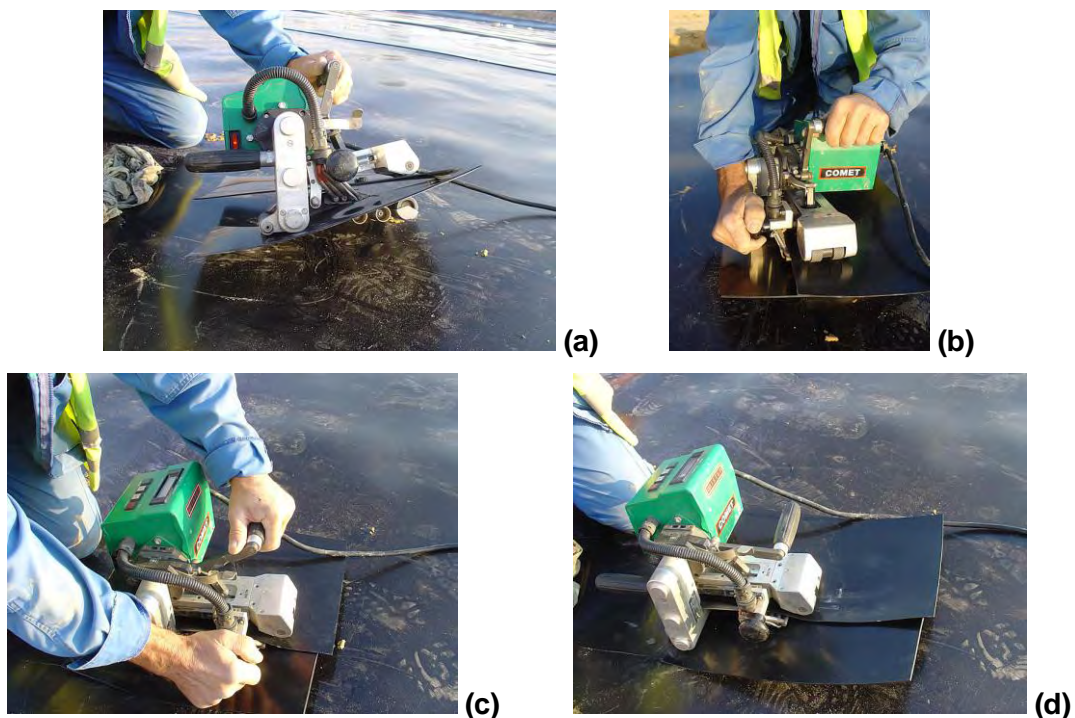


Figura 3.45 – Demonstração de execução de soldadura dupla.

3.6.3.2 SOLDADURA POR EXTRUSÃO

Com a soldadura manual por extrusão com gás quente, realizam-se unicamente soldaduras instantâneas com junta sobreposta. Este processo apresenta as seguintes particularidades:

- 1) Solda-se com produto de aplicação da mesma natureza que o material de base.
- 2) O produto é plastificado no interior de uma extrusora e aplicado sob a forma de fio dentro da junta por intermédio do respiradouro e do patim de soldadura.

- 3) As superfícies a soldar são aquecidas e fundidas por gás quente (ar).
- 4) O esforço de soldadura é aplicado por intermédio do patim de soldadura no momento em que se introduz o produto de aplicação dentro da junta.
- 5) As temperaturas do fio extrudido e a do gás quente devem poder ser reguladas separadamente.

A solda por deposição de material, também chamada soldadura por extrusão, pode ser executada manualmente através de aporte (esparguete, monofilamento ou cordão de solda de PEAD) plastificado por ar quente ou através de máquina extrusora portátil. Pela fiabilidade, normalmente utiliza-se a extrusora portátil, cujo material pode ser alimentado na forma de PEAD granulado ou de aportes (cordão de solda ou monofilamento).

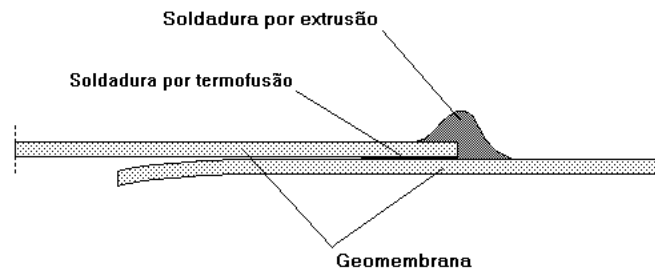
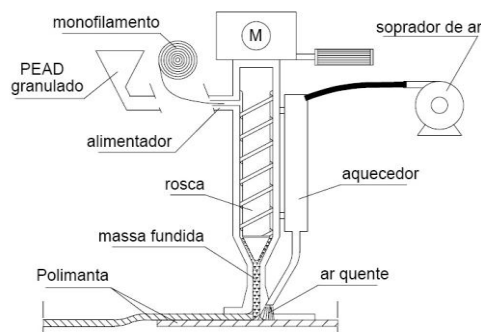


Figura 3.46 – Representação esquemática de uma soldadura por extrusão.

Estas máquinas são constituídas basicamente de uma mini extrusora onde o material é plastificado (fundido) por meio de calor. A massa do material fundido é então forçada através do centro da sapata de PTFE (“Teflon”) que o pressiona contra os painéis de geomembrana ou remendos (reparos), realizando sua solda. Este equipamento possui ainda uma fonte de ar quente, que efectua o pré-aquecimento das geomembranas a serem soldadas, e também vários tipos de sapatas. A fonte geradora de ar pode ser integrada ou externa à máquina.



(a)



(b)

Figura 3.47 – Representação esquemática de uma extrusora (a) e imagem real da mesma (b).

A soldadura manual por extrusão deve ser limitada a soldaduras curtas, a zonas de soldagem de difícil acesso e a ajustes especiais, e às reparações.

A expulsão do material plastificado que se encontra dentro da extrusora faz avançar o aparelho e determina a rapidez da soldagem. A pressão da soldagem deve ser aplicada de forma a se possível, alguma parte do cordão extrudido não seja repuxado nas bordas.

Na face da geomembrana superior devem ser limadas as arestas a um ângulo de cerca de 45°. A fim de evitar uma separação das geomembranas de revestimento, são picotadas com gás quente antes da soldadura propriamente dita.

O produto de aplicação plastificado é transportado de forma contínua desde as superfícies a soldar. A temperatura do produto de aplicação é medida a partir do centro do orifício do respiradouro. A temperatura do gás quente utilizado para pré-aquecer as superfícies a soldar é medida ao meio do orifício da saída de ar.

Durante a condução do produto de aplicação a pressão de soldadura é aplicado manualmente através do patim de soldadura. A rapidez de soldadura depende da quantidade do produto extrudido as dimensões da soldadura. Não é necessário nenhum remate da soldadura.

3.6.3.3 SOLDADURA POR MÁQUINA DE AR QUENTE

É constituída por um gerador de ar quente com vazão regulada de ar e temperatura auto-controlada e ajustável entre 20 e 700 °C. O fluxo de ar quente produzido é regulável de 50 a 230 l/min. Podem ser dotadas de circuitos electrónicos que controlam a potência fornecida à resistência eléctrica de maneira a manter fixa a temperatura ajustada independente de variação do fluxo de ar, temperatura ambiente ou da flutuação da tensão de alimentação.

Neste tipo de solda, o fluxo de ar quente leva a fusão as superfícies dos painéis a serem soldados, e através da pressão manual de rolos de silicone promove-se a interacção das superfícies fundidas, soldando-as.

Estas máquinas são normalmente utilizadas para soldas de remendos, ou para apontar na fixação prévia do alinhamento das geomembranas para soldas automáticas e/ou por deposição de material (solda por extrusão). Servem também, com a ponteira adequada, para selar os canais para testes de pressão da solda (para verificação de estanqueidade).

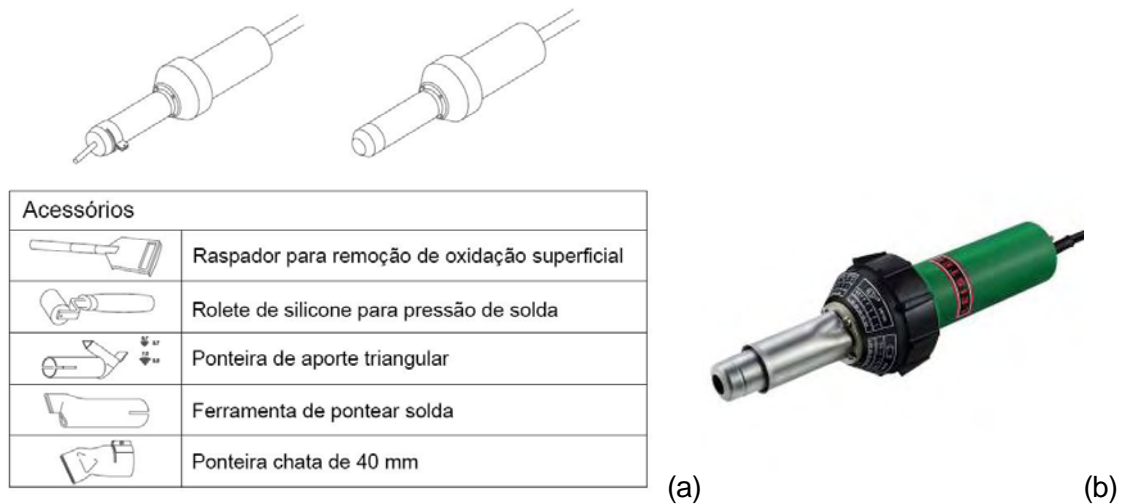


Figura 3.48 – Acessórios de uma máquina de soldar de ar quente (a) e imagem real da mesma (b).

Tabela 3.3 – Características básicas das máquinas de ar quente.

Parâmetros	Valores
Tensão/potência	220 V/1.700 W
Peso	1,4 kg
Temperatura (controlada)	de 20 a 700 °C

Estes equipamentos e os seus acessórios são utilizados também para serviços de detalhes e acabamento no local da obra. Existem vários tipos de ponteiros para adequar-se à superfície a ser soldada.

Qualquer destes processos de soldadura efectua-se com os 3 parâmetros seguintes:

- 1) Temperatura (gás quente, cunha de aquecimento, matéria extrudida)
- 2) Rapidez da soldadura
- 3) Força

Estes parâmetros influenciam-se reciprocamente, e devem portanto, ser ajustados uns em relação aos outros. Os parâmetros de soldadura devem ser ajustados à geomembrana (material, espessador, estrutura superficial, temperatura) e às condições de ambiente predominantes durante a soldadura.

Pela qualidade de junção soldada, é determinante escolher judicialmente os parâmetros de solda. Antes do princípio de operações de solda, convém portanto ajustar os parâmetros com a ajuda de ensaios de soldaduras efectuadas nas condições reais do aterro.

As superfícies a soldar devem secas e limpas. É útil proteger com a ajuda de vernizes descascáveis. Devem ser produzidos mecanicamente se, depois da solda, a camada afectada pelo calor e oxidação não for eliminada, por exemplo pela cunha de aquecimento de tal forma que não altere a resistência da junta. No caso de soldas instantâneas com junta sobreposta, as faces frontais das membranas superiores devem ser desgastadas.

A execução de uniões em T com máquinas de soldar exige uma preparação particular da zona de solda. Sobre a união terminada, os dois revestimentos, assim como o fio atrás devem ser cautelosamente fabricados. A transição da membrana superior para a inferior efectua-se no fio anterior.

As condições ambientais podem influenciar notavelmente o processo de solda, e portanto a qualidade da mesma. As recomendações seguintes devem ser seguidas:

- 1) Em caso de chuva, não se solda sem ter as particulares precauções (por exemplo: abrigo, tenda).
- 2) Regra geral, a temperaturas inferiores a +5 °C, é interdito soldar sem ter verificado a permeabilidade da soldadura, salvo autorização do dono de obra.
- 3) Na solda manual por extrusão com gás quente, o fundo deve ser preparado de tal forma que seja capaz de absorver a contrapressão necessária a pressão de solda.

Em todos os processos de solda, as superfícies a soldar devem ser levadas à temperatura necessária à soldadura em função do material a soldar. Somente as zonas próximas das superfícies a soldar devem ser aquecidas, a fim de limitar o mais possível a dilatação térmica das geomembranas na zona de solda.

3.6.4 PREPARAÇÃO DAS SUPERFÍCIES QUE RECEBERÃO A GEOMEMBRANA

De modo a que a instalação e aplicação das geomembranas sejam efectuadas de forma eficaz e com segurança, devem ter-se alguns cuidados quer na preparação do terreno que vai receber a geomembrana (ao nível de limpeza e uniformização) quer nos aspectos

técnicos particulares da sua amarração (vala de ancoragem ou de amarração). Apresentam-se de seguida algumas considerações a ter no que concerne a estes aspectos.

3.6.4.1 SUPERFÍCIE DE APOIO

- 1) A superfície deverá ser preparada imediatamente antes da colocação da geomembrana, de acordo com o projecto executivo, para evitar a sua deterioração causada por chuva, vento, perda de humidade e tráfego local.
- 2) A superfície a ser revestida deverá estar lisa e livre de objectos pontiagudos, de pedras, de material orgânico, madeira e quaisquer outros que possam danificar a geomembrana.
- 3) Quando o sistema de revestimento inclui argila compactada, a superfície desta camada não deverá ter mudanças abruptas no seu nivelamento nem conter materiais pontiagudos.
- 4) Pedras com diâmetro maior que 10 mm não deverão ser permitidas nos últimos 15cm do solo de apoio da geomembrana.
- 5) Todas as superfícies deverão ser cuidadosamente inspeccionadas imediatamente antes de serem revestidas, para verificar se as recomendações acima foram seguidas.

3.6.4.2 VALAS DE AMARRAÇÃO/ANCORAGEM

- 1) A vala de amarração deverá ser escavada imediatamente antes da colocação da geomembrana, para evitar danos ocasionados pela chuva e abatimento das suas laterais.
- 2) A vala de amarração deverá ser escavada de acordo com as dimensões previstas no projecto, as quais são calculadas em função da inclinação e altura do talude. No caso de solos rijos e duros, a vala deverá ter as bordas levemente arredondadas, para evitar danos a geomembrana. Um geotêxtil não tecido agulhado de gramagem elevada ou um geocomposto bentonítico poderá também ser utilizado sob a geomembrana para sua protecção.

- 3) O reaterro da vala de amarração deverá ser executado cuidadosamente para evitar danos na geomembrana.

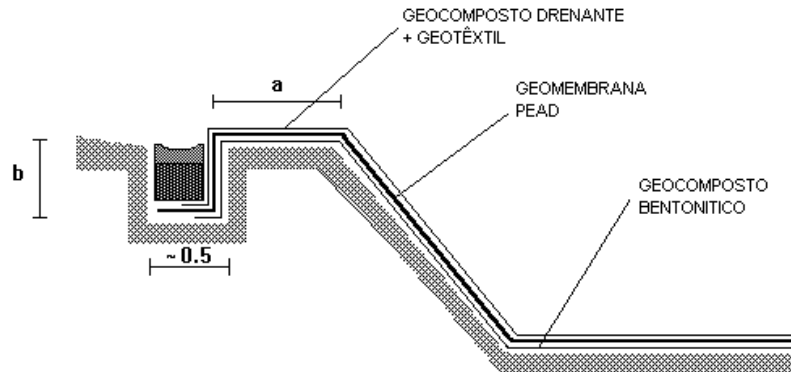


Figura 3.49 – Representação esquemática da vala de amarração

Tabela 3.4 – Valores para a vala de amarração tendo em conta o comprimento dos taludes (ver Figura 3.49).

Comprimento dos taludes	a	b
< 10 m	$\geq 0,5$ m	$\geq 0,5$ m
10 – 25 m	$\geq 0,8$ m	$\geq 0,6$ m
> 25 m	$\geq 1,0$ m	$\geq 0,8$ m

3.6.5 INSTALAÇÃO DA GEOMEMBRANA

Após se verificar que a superfície da camada subjacente à geomembrana não sofreu alterações desde a sua aprovação, e que na eventual colocação de um geossintético bentonítico subjacente à geomembrana este apresenta a sua superfície limpa e sem resíduos, pode dar-se início à colocação dos painéis de geomembrana.

3.6.5.1 COLOCAÇÃO DA GEOMEMBRANA

A colocação dos painéis de geomembrana deve seguir a ordem indicada num esquema de colocação (*layout*) previamente acordado entre o instalador e a fiscalização. Estes devem ser numerados *in situ*, sequencialmente à sua colocação. Assim, a data de aplicação, número do rolo (marcado de fábrica) e número da tela (por ordem de aplicação) deverá ser anotada no impresso de colocação da geomembrana para controlo de qualidade da obra (ver próximo capítulo).

Para além do esquema de colocação geral, também devem estar indicados os pormenores da disposição dos painéis em pontos críticos, nomeadamente nos cantos dos taludes e em curvas conforme é indicado nas figuras seguintes.

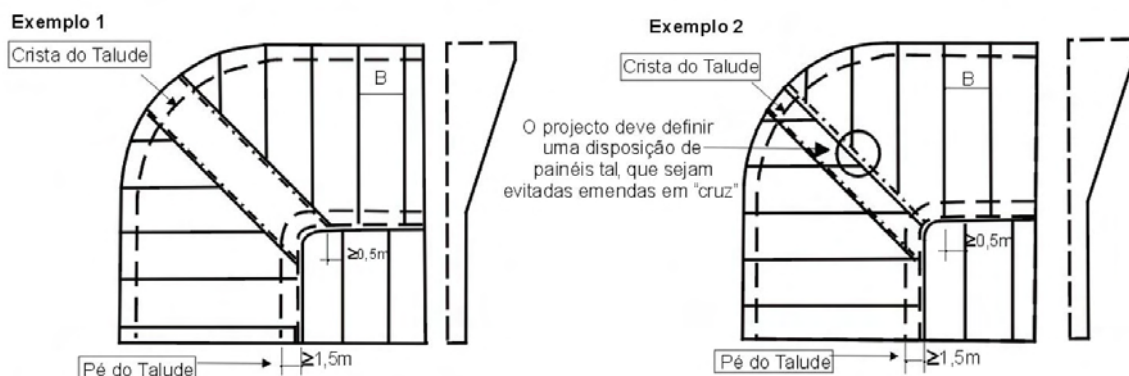


Figura 3.50 – Disposição dos painéis para taludes com mais de quinze metros.

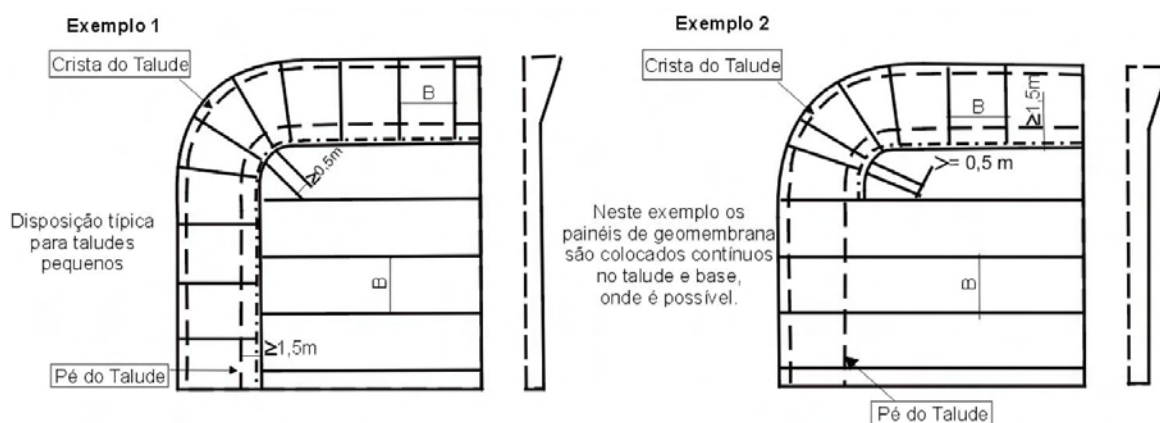


Figura 3.51 – Disposição dos painéis para um talude com menos de quinze metros.

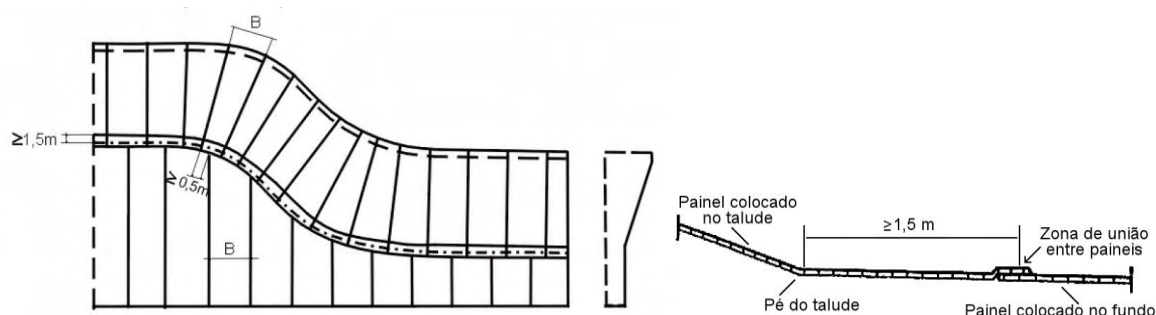


Figura 3.52 – Exemplo de disposição correcta em curvas e sobreposição de fundo.

Como se pode verificar nas figuras acima, os painéis de geomembrana devem ser colocados paralelamente à linha de maior declive do talude. Devem-se evitar as uniões

em cruz e as uniões em “T” com um intervalo inferior a 0,5 m. As uniões entre os painéis de geomembrana colocados nos taludes e na base devem ser efectuadas a uma distância mínima do pé do talude de 1,5 m.

Não é recomendável a realização de sobreposições horizontais nos taludes (Figura 3.53). Caso seja inevitável, não devem localizar-se nem na parte superior do talude nem a uma distância inferior a 1,5 m do pé do talude.



Figura 3.53 – Exemplos de sobreposições horizontais em talude (não recomendável).

Deve ainda ter-se o cuidado de realizar as sobreposições existentes na base do aterro de forma adequada (ver Figura 3.54), ou seja, tendo em consideração a inclinação da base e consequentemente o sentido do escoamento do lixiviado.

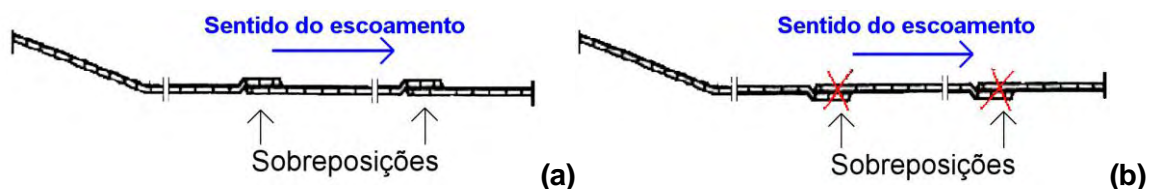


Figura 3.54 – Exemplo de sobreposições adequadas (a) e inadequadas (b) na base do aterro.

Nas uniões, a largura de sobreposição dos painéis deve ser a adequada para que se possam efectuar as soldaduras. Nas geomembranas de PEAD é, normalmente, de 10 cm para as soldaduras por termofusão e de 7,5 cm para as soldaduras por extrusão.

3.6.6 APLICAÇÃO DA GEOMEMBRANA

Apresenta-se, de seguida, uma descrição pormenorizada dos processos de aplicação e soldaduras de geomembrana.

3.6.6.1 SOLDADURA POR DUPLA-PISTA

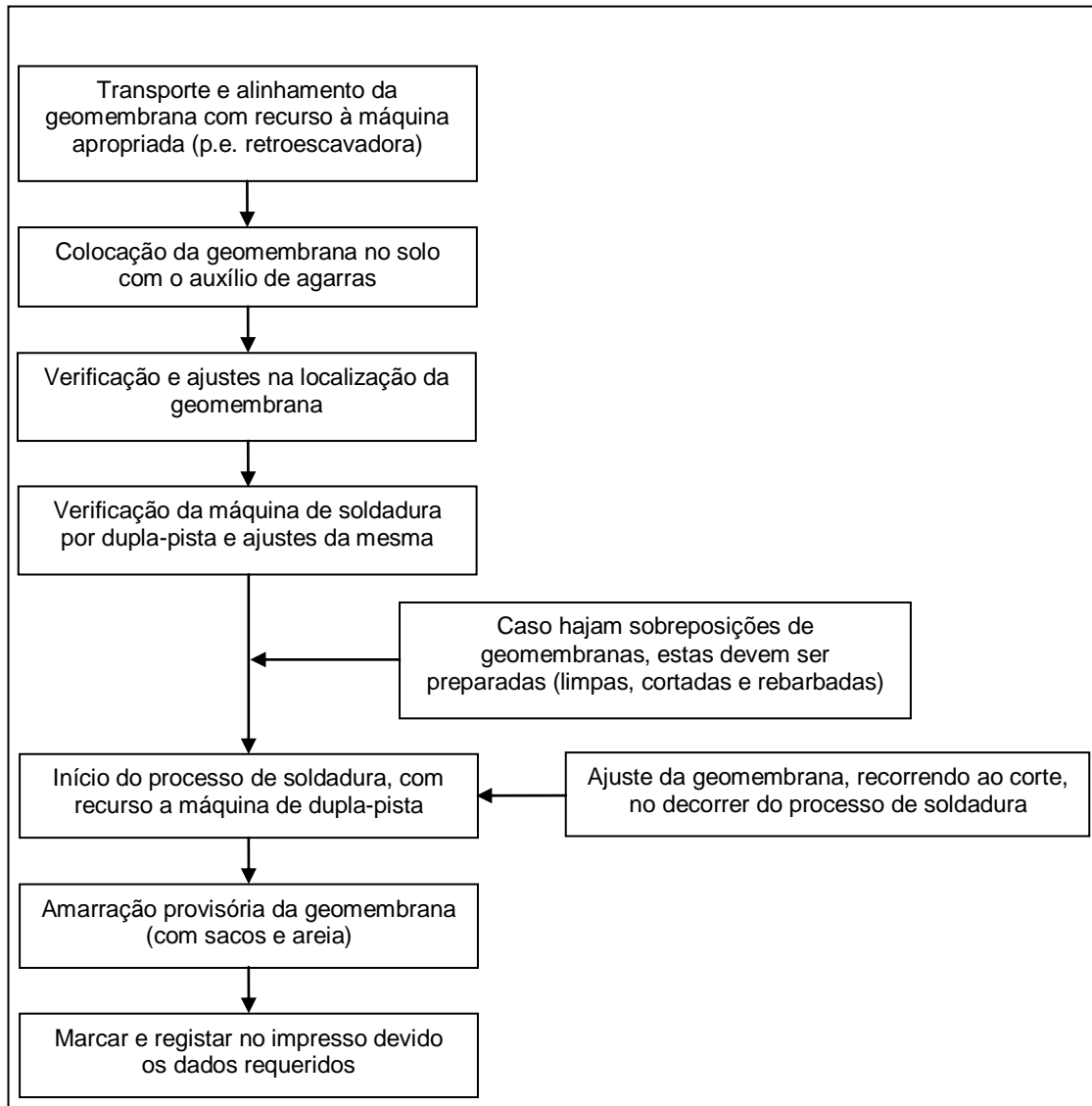


Figura 3.55 – Soldadura por dupla pista – fluxograma da actividade.

- a) A geomembrana é aplicada com o apoio da retroescavadora, que transportará e suportará o rolo na canga o mais alinhado possível com a zona a impermeabilizar (Figura 3.56).



Figura 3.56 – Aplicação de geomembrana recorrendo ao uso de máquina de apoio.

- b) Após o alinhamento a geomembrana é então puxada pelos colaboradores com o auxílio de equipamento próprio para o efeito – agarras (Figura 3.57).



Figura 3.57 – Colocação da geomembrana em talude.

- c) As geomembranas são dispostas – sem tensão – sobre o solo, de acordo com o plano de aplicação, com uma sobreposição mínima de 10 cm. Os procedimentos de instalação para se obter uma aplicação perfeita (p.e. onde começar e por onde avançar) são previamente determinados.



Figura 3.58 – Colocação da geomembrana na base do aterro.

- d) Depois da geomembrana colocada poderá ser necessário algum ajuste na sua localização que, se não for possível através de movimentação, terá de ser cortada como auxílio do cortador de lâmina curva pela marca e largura previamente efectuada na tela, conforme se pode verificar na Figura 3.59.



Figura 3.59 – Ajustes da geomembrana para uma soldadura perfeita.

- e) É então efectuada a soldadura da geomembrana com o auxílio da máquina de soldadura dupla – o ajuste desta através do corte é efectuado também à medida que se vai realizando a soldadura de modo a que fique correcta (Figura 3.60).



Figura 3.60 – Soldadura da geomembrana.

- f) A geomembrana aplicada é finalmente ancorada provisoriamente com sacos de areia ou de terra, com uma fina camada de terras caso se trate da vala de amarração, pneus ou outro elemento que não cause danos a mesma, a fim de se obter sua boa conformação à superfície, ao longo das bordas e cantos dos painéis antes da ancoragem, e para evitar o seu levantamento pelo vento (Figura 3.61).



Figura 3.61 – Ancoragem provisória da geomembrana.

- g) Nas zonas de sobreposição, prolongamento e reparação de telas, deve ser cortado e rebarbado o excedente de geomembrana de modo a ser realizada uma soldadura em perfeitas condições de qualidade (Figura 3.62).



Figura 3.62 – Preparação da geomembrana em zonas de sobreposição das mesmas.

- h) Se for inevitável o tráfego de veículos sobre a geomembrana colocada, deverá haver uma boa protecção mecânica com geotêxtil, com uma camada de geomembrana ou de solo, de forma que o veículo circule sobre a camada de protecção.
- i) Deverão ser registados o número, a localização e data de colocação de cada painel. Dados estes que deverão constar do “as built” elaborado diariamente pelo instalador.

3.6.6.2 SOLDADURA POR EXTRUSÃO

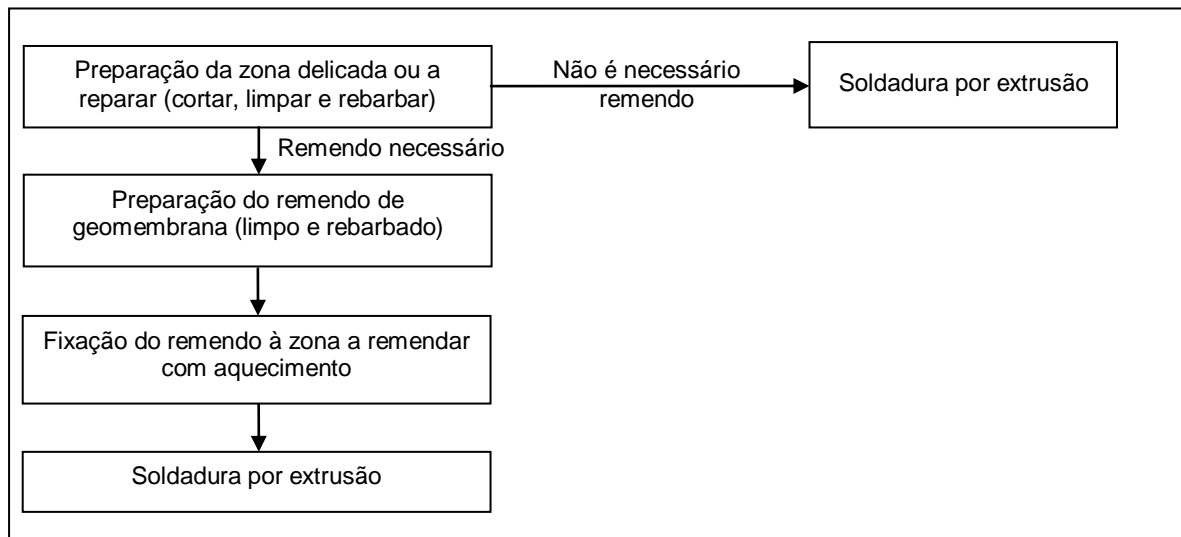


Figura 3.63 – Soldadura por extrusão – fluxograma da actividade.

- a) Deve ser preparada a zona de intervenção de modo a estar apta a receber o processo de soldadura, devendo esta estar completamente limpa, cortada e rebarbada.
- b) Caso seja necessário usar um remendo de geomembrana este deve ser cortado e rebarbado de modo a que a soldadura por extrusão fique resistente e fixa (Figura 3.64), caso não este não seja necessário, deve-se omitir este passo e passar para o processo de soldadura (ponto d).



Figura 3.64 – Preparação de um remendo a aplicar na geomembrana.

- c) O remendo deve ser colado à geomembrana que contém a zona a remendar através da máquina de ar quente usada – no caso denominada Leister (Figura 3.65).



Figura 3.65 – Colocação do remendo de geomembrana através da colagem do mesmo na zona danificada.

- d) Procede-se então à soldadura por extrusão, com a utilização da extrusora, de acordo com o processo descrito atrás e como exemplifica a Figura 3.66.



Figura 3.66 – Execução de soldadura por extrusão num remendo na geomembrana.

Nesta soldadura é colocado um fio de cobre na zona da soldadura por debaixo da extrusão que servirá para controlo de qualidade da soldadura como indicado no capítulo seguinte.

3.6.7 APLICAÇÕES

A aplicação da geomembrana em PEAD em aterros é, como vimos, da maior importância, apresentando-se como um dos geossintéticos mais importantes a ter em conta na impermeabilização e selagem de aterros, uma vez que é o que confere a estes aterros a sua total impermeabilização e impede assim a fuga de efluentes líquidos (lixiviados) e gasosos (biogás) durante o seu período de vida activa (incluindo o período de fecho).

As geomembranas e a maioria dos geossintéticos analisados, como já se teve a oportunidade de verificar nos capítulos anteriores, são utilizadas em sistemas compostos de revestimentos tanto na base como na cobertura de aterros de resíduos.

Num sistema composto, usualmente a geomembrana é colocado sob o geocomposto bentonítico ou de geotêxteis de protecção, conforme as especificações e configurações dos aterros em causa.

Deste modo, e para as diferentes classes de aterros, temos configurações particulares e mais usuais.

3.6.7.1 ATERROS DE RESÍDUOS PERIGOSOS

Em aterros de resíduos não perigosos (industriais ou sanitários) as configurações usuais, fazem uso de uma configuração composta com protecção mecânica da geomembrana recorrendo ao uso ou de geotêxteis (geralmente quando é colocada uma barreira geológica de argilas) ou, mais comum, utilizando uma barreira geossintética com o uso de geocompostos bentoníticos (como vimos no capítulo anterior) e acima destes é aplicada a barreira de protecção/impermeabilização com geomembranas em PEAD (Figura 3.67).

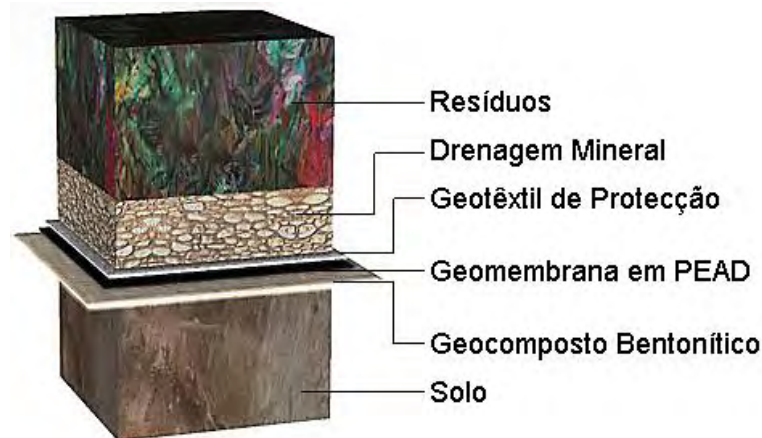


Figura 3.67 – Exemplo de sistema composto simples, utilizado na impermeabilização de aterros de resíduos não perigosos.

No caso de aterros de resíduos perigosos, este sistema é composto dos mesmos materiais mas em dupla camada de modo a garantir mais segurança em caso de fugas ou danos na primeira geomembrana. Estes sistemas fazem uso ainda de um sistema de detecção de fugas entre a primeira e segunda camada de modo a atribuir mais segurança a todo o sistema de impermeabilização e assim prevenir e evitar danos ambientais futuros (Figura 3.68).



Figura 3.68 – Exemplo de sistema composto duplo, utilizado na impermeabilização de aterros de resíduos perigosos.

3.6.7.2 SELAGEM DE ATERROS

Na selagem de aterros, o sistema varia entre a utilização de geocomposto bentonítico ou geotêxtil como protecção à geomembrana e pode ainda conter acima e abaixo destes geocomposto de drenagem para águas pluviais e para biogás, respectivamente (Figura 3.69).

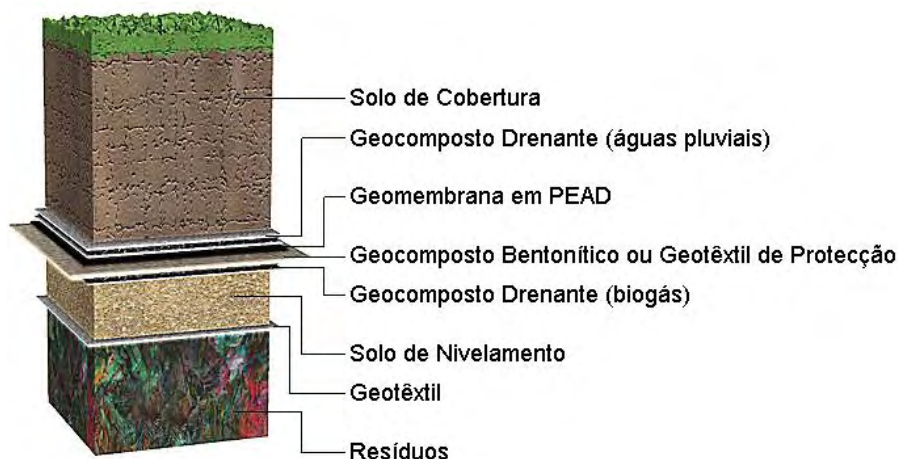


Figura 3.69 – Exemplo de sistema de selagem em aterro de resíduos.

De modo a demonstrar as inúmeras aplicações dos geossintéticos descritos, a Figura 3.70 representa, esquematicamente, uma configuração geral para impermeabilização e selagem de aterros.

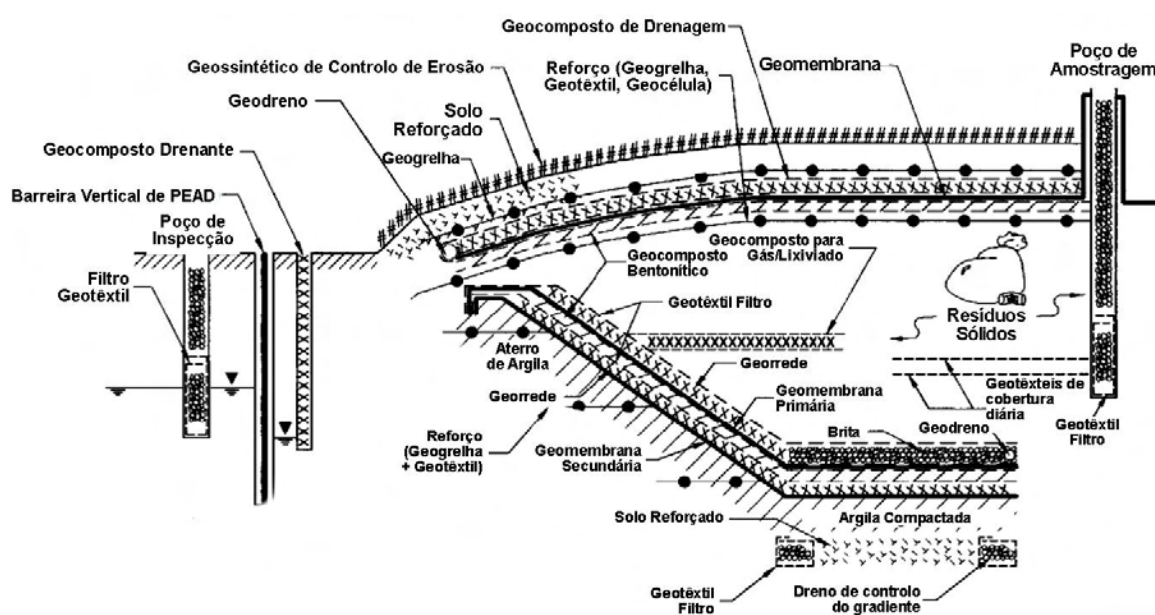


Figura 3.70 – Representação esquemática de uma configuração de impermeabilização e selagem de aterro.

4 CONTROLO DE QUALIDADE EM SISTEMAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS

Neste capítulo vão ser abordados os procedimentos de qualidade que servirão para que os geossintéticos se encontrem nas melhores condições, desde a sua entrega até à sua aplicação em obra e também as técnicas utilizadas para a verificação da qualidade destes após instalação.

4.1 RECEPÇÃO QUALITATIVA EM OBRA

Uma vez que, na maioria das vezes, são aplicados diversos tipos de geossintéticos diferentes nas obras de impermeabilizações e selagens de aterros, é de extrema importância que a sua recepção em obra seja efectuada de forma correcta para prevenir falhas e respectivos custos associados.

Assim, depois de identificados os geossintéticos a aplicar nos diferentes tipos obras, é verificado o tipo de material a descarregar, nomeadamente o fabricante e identificação do produto de modo a não existirem quaisquer enganar. Para tal, o material vem acompanhado de guia de remessa onde estes dados estão indicados. Vêm também indicados os números dos rolos e o respectivo lote de fabrico.

Posteriormente, e após a recepção dos documentos de controlo de qualidade do fornecedor, verifica-se se os materiais cumprem as características de aceitação dos mesmos.

4.2 RECEPÇÃO QUANTITATIVA EM OBRA

Após confirmar que a entrega do material é para a obra em causa, é efectuada a sua descarga, onde serão verificadas as quantidades requeridas. Para tal, na guia de remessa são indicadas as dimensões de cada rolo (largura e comprimento), que devem ser confirmadas com a etiqueta que vem em cada um desses rolos.

4.3 PRODUTO NÃO CONFORME

A Identificação e controlo do produto não conforme, detectado na recepção qualitativa ou durante a execução da obra é assegurado de forma a impedir que este seja incorporado nas obras e assim ser introduzido um material com qualidade inferior à requerida,

mediante a marcação do invólucro do material com uma cruz vermelha. O produto é segregado para devolução ou destruição.

4.4 APROVISIONAMENTO

Para que os geossintéticos se encontrem sem danos que possam por em causa a sua aplicabilidade, estes devem obedecer a certas condições de aprovisionamento que se indicam a seguir.

4.4.1 GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICOS

O tempo de armazenamento dos geocompostos bentoníticos ao ar livre deve ser o menor possível (algumas semanas), para evitar a hidratação da bentonite e deve ser coberto com uma película de polietileno com espessura superior a 100 mm. Caso seja previsível um armazenamento prolongado, devem providenciar-se instalações adequadas para os proteger da chuva, humidade e raios U.V.

O empilhamento de rolos deve seguir as recomendações do fabricante que normalmente acompanham os materiais. Na ausência destas recomendações, sugere-se que o empilhamento não exceda os cinco níveis de rolos.

A superfície sobre a qual podem ser colocados os rolos de geocompostos bentoníticos deve ser minimamente preparada (elevada em relação ao solo) para que pedras, objectos contundentes ou humidade não o danifiquem. Se o geocomposto bentonítico for armazenado de forma inadequada, ou apresentar danos, recomenda-se sacrificar algumas espiras e aproveitar apenas o material intacto.

4.4.2 GEOTÊXTEIS, GEOCOMPOSTOS DRENANTES E GEOGRELHAS

O armazenamento de geotêxteis no exterior não deve ser superior a seis meses. Caso contrário, devem providenciar-se instalações cobertas. Os rolos de geotêxteis deverão ser armazenados até ao dia da sua instalação, com as embalagens originais, resistentes à água e aos raios U.V. Devem ser protegidos da exposição directa ao sol, temperaturas superiores a 60 °C, humidade, precipitação ou inundações, sujidade (lama, pó, etc.), danos mecânicos, vandalismo e passagem de veículos.

O empilhamento de rolos de geotêxteis pode ser permitido desde que não implique danos nos rolos. Normalmente o empilhamento não deve exceder os cinco níveis de rolos.

A superfície sobre a qual podem ser colocados os rolos deve ser previamente preparada (elevada em relação ao solo) para que pedras ou objectos contundentes não danifiquem os geotêxteis, nem haja retenção de água no local.

4.4.3 GEOMEMBRANA

Deve-se garantir que o armazenamento das geomembranas é o adequado, por exemplo contra a sujidade, danos mecânicos, vandalismo, passagem de veículos ou outros factores como a chuva e raios U.V., sobretudo se o tempo de armazenamento for significativo (mais de seis meses).

A superfície sobre a qual podem ser colocados os rolos deve ser minimamente preparada para que pedras ou objectos contundentes não danifiquem a geomembrana e também para esta não permanecer permanentemente molhada. Para o efeito, podem colocar-se os rolos de geomembrana sobre paletes de madeira. A embalagem original deve também manter-se intacta até à data e local da sua utilização.

O empilhamento de rolos deve seguir as recomendações do fabricante que, geralmente, acompanham o produto. Na ausência destas recomendações, sugere-se que o empilhamento não exceda os cinco níveis de rolos.

No caso de a geomembrana ser armazenada de forma inadequada, recomenda-se sacrificar as primeiras espiras, aproveitando apenas o material intacto.

4.5 CONTROLO DE QUALIDADE DOS GEOSSINTÉTICOS APLICADOS

Para ser efectuado um controlo de qualidade do material aplicado, é preenchido um impresso específico para todos os geossintéticos onde se pode verificar o número do rolo aplicado, o dia da sua aplicação e o comprimento aplicado.

Anexado a esta informação, para o caso da geomembrana, indica-se também a posição de aplicação que se poderá verificar no *layout* (esquema de colocação) desse geossintético. Estes devem obedecer o máximo possível aos provisórios, se existirem, sendo comunicadas quaisquer alterações a efectuar antes de se proceder à aplicação dos mesmos (ver Anexo F – Impresso de qualidade e layout de aplicação). Para além do esquema de colocação geral, também devem estar indicados os pormenores da

disposição dos painéis em pontos críticos, nomeadamente nos cantos dos taludes e em curvas

Assim, caso se detecte alguma falha ao nível da qualidade ou algum dano nos geossintéticos, facilmente se detecta a sua localização, o lote e número do rolo aplicado e, caso seja necessário, serão analisados, verificados e em último caso retirados da obra todos os restantes rolos desse mesmo lote.

Conforme foi referido anteriormente, todos os rolos vêm devidamente identificados bem como os respectivos controlos de qualidade, facilitando assim a sua apreciação e aprovação em obra.

Para todos os geossintéticos, o controlo de qualidade deve ser efectuado quer na sua recepção quer no seu aprovisionamento e aplicação através da verificação visual (do aplicador e da fiscalização presente em obra) e controlo de todos os parâmetros técnicos descritos nos capítulos anteriores (desde a preparação da superfície de apoio até às técnicas utilizadas nas uniões dos geossintéticos).

No caso da geomembrana, além destes, devem-se efectuar controlos técnicos das ligações dos painéis e reparações efectuadas de modo a garantir uma funcionalidade de 100 % do material aplicado.

4.5.1 CONTROLO DE QUALIDADE DA GEOMEMBRANA (ENSAIOS ÀS SOLDADURAS)

A qualidade das soldaduras é verificada em termos de continuidade (estanqueidade) e de resistência mecânica. Para a verificação da continuidade são realizados ensaios não-destrutivos: ensaios de pressão de ar (para as soldaduras por termofusão duplas) e ensaios de vácuo e/ou ensaio do fio de cobre (para as soldaduras por extrusão).

Para a verificação da resistência das soldaduras são realizados ensaios destrutivos: arranque (*peel test*) e corte (*shear test*).

4.5.1.1 ENSAIOS DE PRÉ-QUALIFICAÇÃO

Antes da realização das soldaduras, por extrusão e termofusão, o instalador deve fazer diariamente ensaios de pré-qualificação em amostras de soldadura preparadas nas mesmas condições em que se farão as soldaduras. O comprimento das amostras é de 1 m por 0,25 m de largura, para as soldaduras por extrusão, e de 0,5 m por 0,25 m de largura, para as soldaduras por termofusão. Nas amostras preparadas, serão cortados

2+2 provetes para realização de ensaios de arranque (*peel test*) e de corte (*shear test*), conforme indicado no item 9.5.1.3 Ensaios . Só se os resultados dos quatro provetes igualarem, ou excederem, os valores indicados nas especificações de projecto é que será autorizada a operação de soldadura.

4.5.1.2 ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS

Devem-se realizar ensaios de pressão de ar (para as soldaduras por termofusão) e ensaios de vácuo e/ou ensaio do fio de cobre (para as soldaduras por extrusão), em todas as soldaduras e em todo o seu comprimento. Estes ensaios devem ser efectuados à medida que se realizam as soldaduras.

1) Ensaio de pressão

O ensaio de pressão de ar (Figura 4.1) deve realizar-se com base na norma ASTM D 6392 (ou equivalente). Resumidamente, após selagem das duas extremidades da junta, pressuriza-se o canal central da soldadura, mediante a injeção de ar a uma determinada pressão (depende da espessura da geomembrana – ver Tabela 4.1), e verifica-se se o valor da pressão permanece estável, durante um determinado período de tempo, ou se diminui. Se o valor da pressão se mantiver estável, o resultado do ensaio é conforme e a junta é considerada estanque. No caso de ocorrer uma queda de pressão superior ao valor máximo admissível (Tabela 4.1), o resultado do ensaio é não-conforme e a soldadura deve ser reparada, de acordo com a secção 3.6.6.2.



Figura 4.1 – Ensaio de pressão de ar.

Tabela 4.1 – Gama de pressões para geomembranas de PEAD lisas e texturadas.

Espessura da Geomembrana (mm)	Pressão Mínima (Bar)	Queda máxima de pressão admissível (Máx. 5 %/min. até Máx. 10% Total) (Bar)
1,0	1,0	Máx. 0,05/min. até Máx. 0,9
1,5	1,5	Máx. 0,075/min. até Máx. 1,35
2,0	2,0	Máx. 0,1/min. até Máx. 1,8
2,5	2,5	Máx. 0,125/min. até Máx. 2,25

2) Ensaio de vácuo

O ensaio de vácuo (Figura 4.2) deve realizar-se com base na norma ASTM D 5820 (ou equivalente). Para a realização deste ensaio, começa-se por lavar a zona da soldadura em ensaio com uma solução de água e detergente. Coloca-se, depois, uma câmara transparente sobre essa zona e cria-se vácuo (cerca de 20 kPa), com a ajuda de uma bomba. Verifica-se seguidamente a existência de “bolhas de sabão” dentro da câmara, durante cerca de 10 segundos após a aplicação da sucção. A formação de bolhas de sabão indica que ocorreu fuga de ar e que a soldadura não é estanque. Nesse caso, o resultado do ensaio é não-conforme e a soldadura deve ser reparada, de acordo com a secção 3.6.6.2. Este ensaio, devido à sua aplicabilidade menos prática, tem vindo a entrar em desuso utilizando-se preferencialmente o ensaio de pressão.

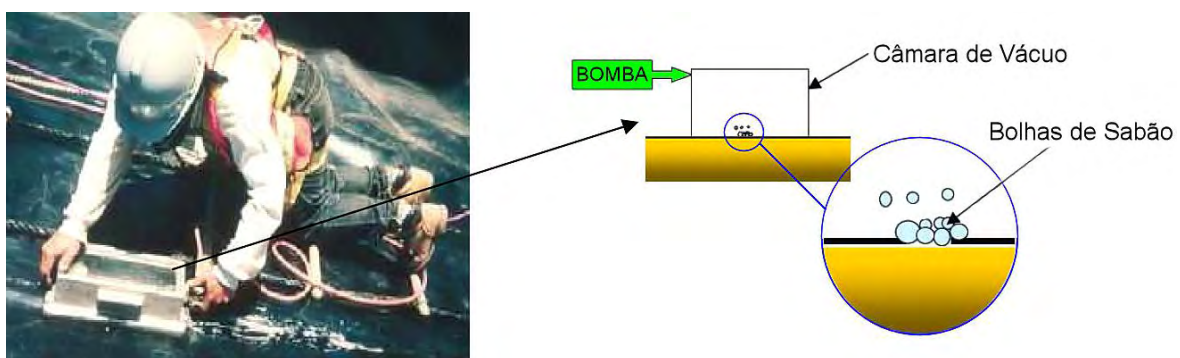


Figura 4.2 – Ensaio de vácuo.

3) Ensaio de fio de cobre (para soldaduras por extrusão)

O ensaio do fio de cobre (Figura 4.3) é utilizado em locais onde não é possível realizar o ensaio de vácuo, tais como nas ligações a tubos, superfícies irregulares ou curvas. Para a realização deste ensaio é necessário introduzir um fio de cobre na zona de sobreposição das geomembranas superior e inferior durante a realização da soldadura. As duas extremidades do fio (arame) são depois retiradas da área de soldadura para serem sujeitas a uma corrente eléctrica (15 a 30 kV). Seguidamente, faz-se mover uma sonda (ligada a um voltímetro), ao longo de todo o comprimento da soldadura. Se o mostrador do voltímetro registar um aumento brusco do sinal (ou se houver a emissão de um som agudo ou ainda uma faísca) significa que a soldadura pode estar defeituosa (não-conforme) e necessita ser reparada. Deve-se ter atenção pois os resultados podem ser afectados pela existência de humidade na superfície inferior da geomembrana.

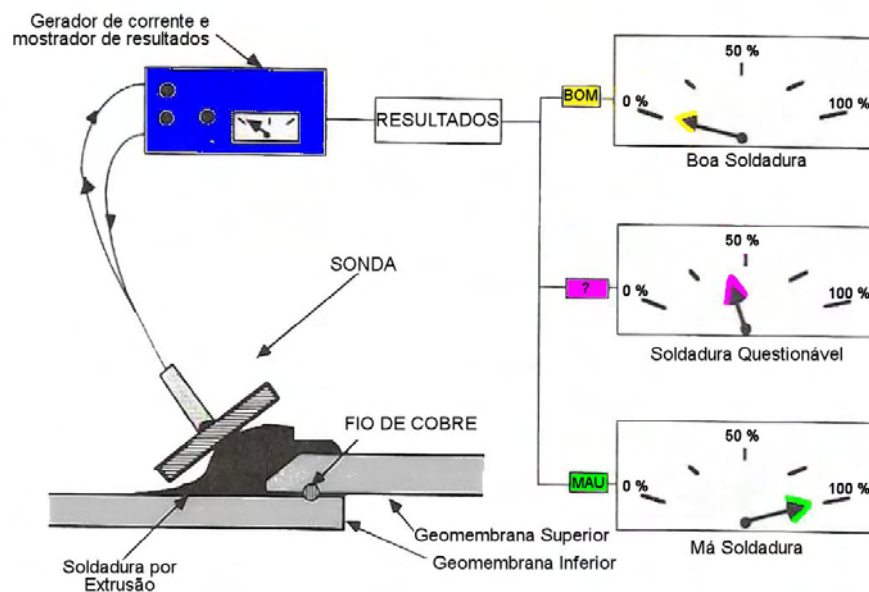


Figura 4.3 – Esquema do ensaio do fio de cobre.

Este ensaio pode também ser feito com um equipamento em forma de escova contendo fios condutores de corrente eléctrica que, quando passados sobre a soldadura por extrusão não devem apresentar faíscas, que representam fuga na soldadura (passagem de corrente entre o fio de cobre e escova eléctrica).



Figura 4.4 – Ensaio do fio de cobre com escova condutora.

A fiscalização e/ou o dono de obra deve estar presente durante a realização dos ensaios não-destrutivos. Estes serão registados em impressos próprios (ver Anexo G – Impresso tipo de testes não destrutivos).

4.5.1.3 ENSAIOS DESTRUTIVOS

Para verificação da resistência das soldaduras são realizados ensaios destrutivos sobre amostras cortadas das soldaduras existentes. Estes ensaios são de dois tipos: ensaio de resistência ao arranque (*peel test*) e ensaio de resistência ao corte (*shear test*). No primeiro, procura-se avaliar a resistência da soldadura (Peggs & Little, 1985). No segundo, procura-se avaliar de que forma o processo de soldadura afecta a resistência da geomembrana adjacente à soldadura (Peggs, 1990).

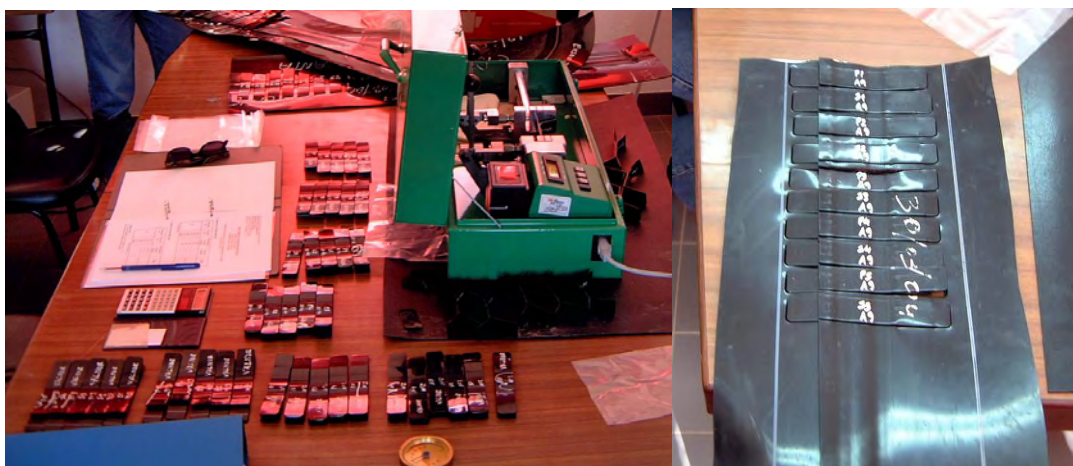


Figura 4.5 – Preparação de provetes para ensaios destrutivos.

Estes ensaios devem ser realizados de acordo com a norma ASTM D 6392, actualmente recomendada pelo Geosynthetic Research Institute (GRI) em vez da norma ASTM D 4437, uma vez que a primeira é mais abrangente (inclui os tipos de rotura para ambos os ensaios, quer para as soldaduras por termofusão dupla, quer para as soldaduras por extrusão, bem como a separação no ensaio de arranque e a extensão no ensaio de corte).

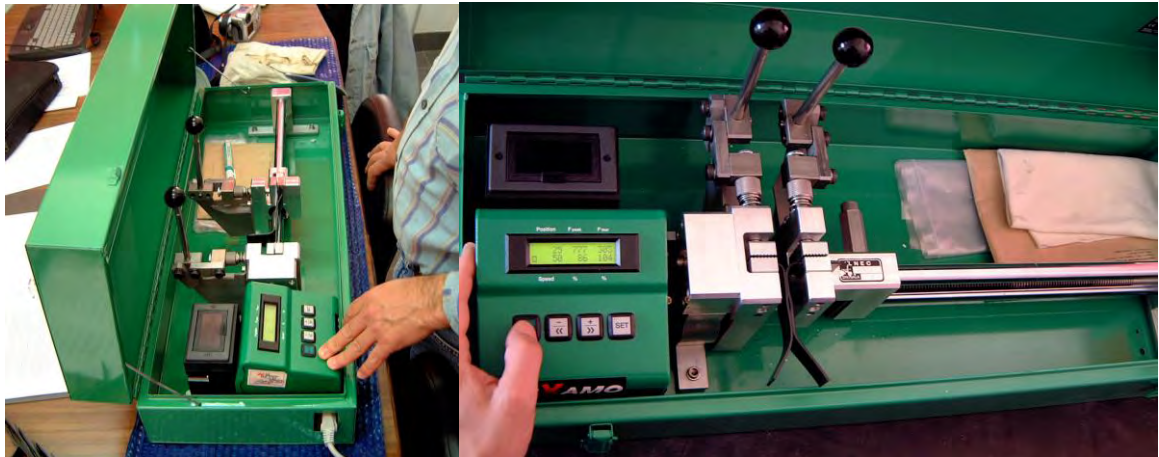


Figura 4.6 – Máquina portátil para ensaios destrutivos.

O princípio do ensaio consiste em traccionar o provete, a uma determinada velocidade (dependente do tipo de geomembrana), da forma indicada na Figura 4.7 (a) e (b), respectivamente para o ensaio de arranque e de corte.

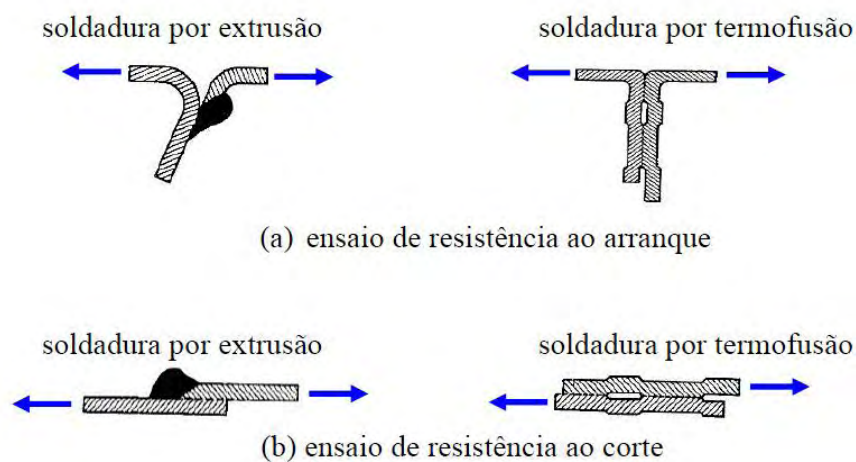


Figura 4.7 – Ensaio de resistência ao arranque e ao corte de soldaduras.

O ensaio de arranque, para as geomembranas de PEAD, é realizado com uma velocidade de 50 mm/minuto. A distância inicial entre garras é de 50 mm (25 mm para cada um dos lados a partir do centro da soldadura). O ensaio termina quando ocorre a rotura do provete.

O ensaio de corte, para as geomembranas de PEAD, é realizado com uma velocidade de 50 mm/minuto. A distância inicial entre garras é de 50 mm (25 mm para cada um dos lados da soldadura) mais a largura da soldadura. O ensaio termina quando o provete tiver atingido uma extensão de 50 %.

Os resultados dos ensaios devem incluir os seguintes aspectos:












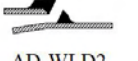








1) Ensaio de Arranque

- Resistência ao arranque (força na rotura por unidade de largura) de cada provete de uma série de cinco e o correspondente valor médio;
- Separação (proporção da área da soldadura separada relativamente à área original da soldadura);
- Tipo de rotura de cada provete de acordo com o indicado na Tabela 4.2.

2) Ensaio de corte

- Resistência ao corte (força máxima por unidade de largura) de cada provete de uma série de cinco e o correspondente valor médio;
- Extensão;
- Tipo de rotura de cada provete de acordo com o indicado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Tipo de rotura das soldaduras por termofusão e por extrusão (baseado na norma ASTM D 6392).

Tipo de soldadura	Tipo de rotura					
						
termofusão	AD	BRK	SE1	SE2	AD-BRK	SIP
						
extrusão	AD1	AD2	AD-WLD1	AD-WLD2	SE1*	SE2*
						
	SE3**	BRK1	BRK2	AD-BRK	HT	SIP

* aplicável apenas no ensaio de corte

** aplicável apenas no ensaio de arranque

Crêterios de aceitação/rejeição

Têm sido desenvolvidos vários cr terios de aceitação/rejeição para as soldaduras de geomembranas. No presente documento recomendam-se os cr terios desenvolvidos pelo GRI-GM19 (2002), os quais se baseiam na análise dos resultados dos ensaios de resistência ao corte e ao arranque realizados segundo a norma ASTM D 6392, nomeadamente nos seguintes aspectos:

1) Ensaio de Arranque

- Resistência ao arranque: 4 de 5 provetes devem apresentar valores iguais ou superiores aos valores correspondentes a 72 % e 62 % da tensão de cedência da geomembrana, respectivamente para as soldaduras por termofusão e por extrusão; 1 provete deve apresentar um valor igual ou superior a 80 % do valor obtido nos outros 4 provetes;
- Separação ≤ 25 %;
- Tipos de rotura inadmissíveis: AD & AD-BRK > 25 %, para as soldaduras por termofusão, e AD1 & AD2; AD-WLD1 & AD-WLD2 (excepto se satisfizerem o valor da resistência), para as soldaduras por extrusão.





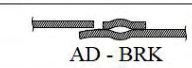









2) Ensaio de Corte

- Resistência corte: 4 de 5 provetes devem apresentar valores iguais ou superiores ao valor correspondente a 95 % da tensão de cedência da geomembrana; 1 provete deve apresentar um valor igual ou superior a 80 % do valor obtido nos outros 4 provetes;
- Extensão correspondente   resistência ao corte ≥ 50 %;
- Tipos de rotura inadmissíveis: AD & AD-BRK > 25 %, para as soldaduras por termofusão, e AD1 & AD2; AD-WLD1 & AD-WLD2 (excepto se satisfizerem o valor da resistência), para as soldaduras por extrusão.

Refira-se ainda que, para soldaduras por termofusão duplas, o ensaio de arranque deve realizar-se sobre ambas as partes da soldadura.

Com base no exposto, apresentam-se na Tabela 4.3 os cr terios de aceitação/rejeição para as soldaduras de geomembrana de PEAD a aplicar em aterro de resíduos.

Tabela 4.3 – Critérios de aceitação/rejeição para soldaduras de geomembrana em aterro de resíduos.

Soldadura	Ensaio	Aspecto	Critérios de aceitação/rejeição
 Termofusão	arranque	resistência ao arranque	4 provetes com resistência ao arranque ≥ 24 kN/m e 1 provete com resistência ao arranque ≥ 19 kN/m
		separação	$\leq 25\%$
		tipos de rotura inadmissíveis	  ⁽¹⁾ AD AD - BRK
	corte	resistência ao corte	4 provetes com resistência ao corte ≥ 31 kN/m e 1 provete com resistência ao corte ≥ 25 kN/m
		extensão	$\geq 50\%$
		tipos de rotura inadmissíveis	  ⁽¹⁾ AD AD - BRK
 Extrusão	arranque	resistência ao arranque	5 provetes com resistência ao arranque ≥ 20 kN/m e 1 provete com resistência ao arranque ≥ 16 kN/m
		separação	$\leq 25\%$
		tipos de rotura inadmissíveis	    ⁽²⁾ ⁽²⁾ AD1 AD2 AD-WLD1 AD-WLD2
	corte	resistência ao corte	4 provetes com resistência ao corte ≥ 31 kN/m e 1 provete com resistência ao corte ≥ 25 kN/m
		extensão	$\geq 50\%$
		tipos de rotura inadmissíveis	    ⁽²⁾ ⁽²⁾ AD1 AD2 AD-WLD1 AD-WLD2

⁽¹⁾ AD-BRK > 25% inadmissível, excepto se o valor da resistência for satisfatório.

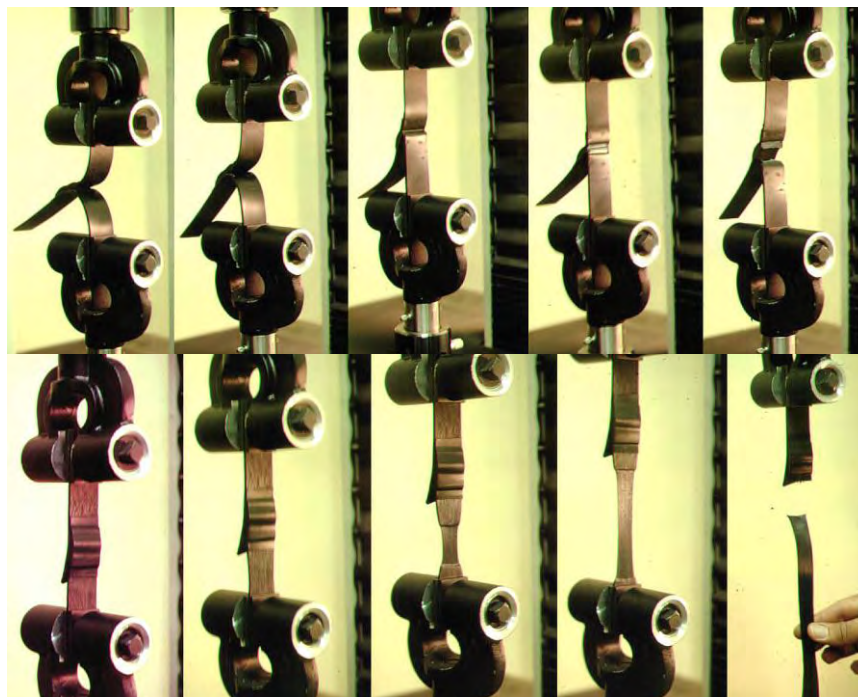
⁽²⁾ roturas inadmissíveis, excepto se os valores da resistência forem satisfatórios.


Figura 4.8 – Testes destrutivos à geomembrana, arranque e corte.

Localização e frequência de amostragem

Os locais de colheita de amostras para ensaios destrutivos devem ser definidos pela fiscalização durante as operações de soldadura. Com vista à diminuição do número de remendos a efectuar nos locais de amostragem, recomenda-se que as amostras sejam retiradas em locais não críticos, tais como na vala de ancoragem, no princípio ou no fim da soldadura, bem como em locais onde seja previsível haver necessidade de se efectuarem remendos, sem prejuízo da recolha de amostras em todos os locais que se considerem suspeitos. Deve-se registar as amostras colhidas em folha própria (Anexo H – Impresso tipo de testes destrutivos)

Relativamente à frequência de amostragem, esta deve ser definida nas especificações de projecto. Deve, porém, ser flexível em função da qualidade das soldaduras evidenciada pelo instalador, o qual não sabe *à priori* os locais das soldaduras onde se fará a recolha das amostras. Considera-se, presentemente, que o ênfase deve ser colocado na realização diária de ensaios de pré-qualificação antes do início dos trabalhos de soldadura e sempre que as condições operatórias se alterem. O número de ensaios destrutivos pode ser reduzido se forem retirados dois provetes no início e fim de cada soldadura extensa, um para ensaiar ao arranque e outro para ensaiar ao corte.

Na ausência de especificações sobre a frequência de amostragem, esta pode ser definida com base no método dos atributos (GRI-GM14, 1998), recomendado para obras com áreas superiores a 100 ha, ou com base no método da carta de controlo (GRI-GM20, 2002), recomendado para obras com áreas inferiores a 100 ha.

A fiscalização deve estar presente nas operações de amostragem e providenciar com a brevidade possível a reparação dessas zonas. A dimensão da amostra depende do número de provetes necessários. Normalmente, se está prevista a realização de ensaios pelo instalador e por um laboratório independente, a amostra deve ter 1,5 m de comprimento e 0,3 m de largura. Na direcção do comprimento deve ser cortada em três partes iguais. Uma parte será dada ao instalador, outra ao representante da entidade independente a quem é pedida a realização de ensaios, e outra à fiscalização/dono de obra para arquivo (devidamente marcada e registada), tal como ilustrado na Figura 4.9.

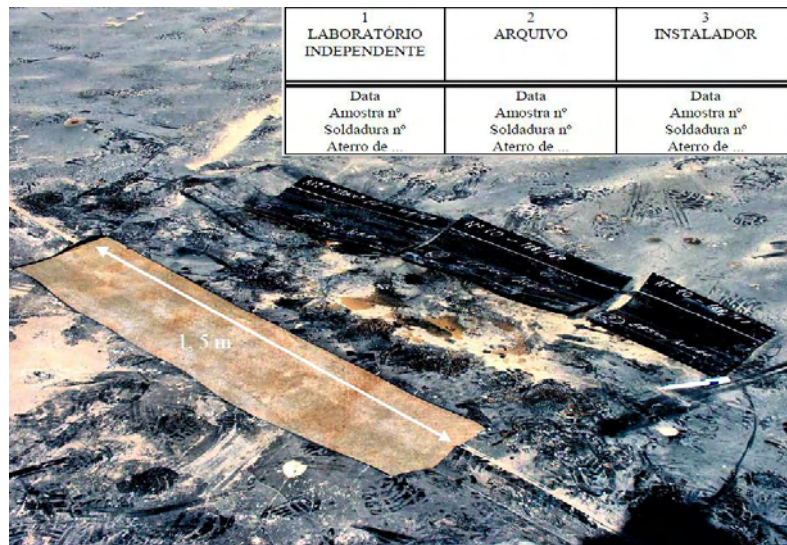


Figura 4.9 – Esquema de amostragem.

Número de provetes

Sobre a porção de amostra enviada ao instalador, este deve cortar no mínimo três provetes para realização de cada ensaio de arranque e três provetes para cada ensaio de corte. A fiscalização deve assistir à realização destes ensaios efectuados pelo instalador (ensaios de autocontrolo).

Para a confirmação dos resultados obtidos nos ensaios de autocontrolo do instalador, o laboratório independente, da porção de amostra que lhe foi enviada, deverá cortar no mínimo cinco provetes para cada ensaio de arranque e cinco provetes para cada ensaio de corte (Figura 4.10 – Esquema do plano de corte dos provetes.).

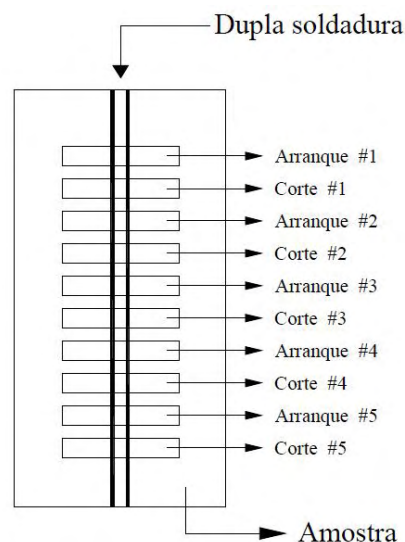


Figura 4.10 – Esquema do plano de corte dos provetes.

Não-conformidades

Relativamente aos ensaios não-destrutivos, se os resultados forem não-conformes a soldadura tem de ser reparada de acordo com o indicado na secção 3.6.6.2, tal como anteriormente referido.

No que diz respeito aos ensaios destrutivos, se os resultados forem não-conformes, o instalador pode optar por:

- 1) Refazer a soldadura entre os locais de amostras cujos resultados foram não-conformes;
- 2) Refazer os ensaios de autocontrolo em amostras retiradas a uma distância mínima de 3 m para cada lado do local da amostragem, cujos resultados foram não-conformes; se para essas novas amostras os resultados obtidos forem satisfatórios, deverá a soldadura ser rejeitada no interior da zona limitada por aquelas amostras; se os resultados não forem satisfatórios será repetido o processo.

Todas as não-conformidades devem ser registadas (tanto nos ensaios não-destrutivos, como nos ensaios destrutivos) em folha própria. Deve também marcar sobre a geomembrana os locais onde os resultados dos ensaios são não-conformes e determinar a sua reparação antes da colocação da camada sobrejacente.

Reparações das soldaduras

No que se refere aos locais onde os resultados dos ensaios não-destrutivos são não-conformes, ou que um defeito é detectado, os mesmos têm, consoante a decisão da fiscalização, de ser reparados segundo uma das seguintes formas:

- 1) Com um remendo (como se exemplificou anteriormente);
- 2) Remoção da junta e substituição por uma faixa de geomembrana, soldada de ambos os lados por termofusão;
- 3) Reforçar a junta com uma soldadura por extrusão.

Relativamente aos locais onde os resultados dos ensaios destrutivos são não-conformes, a reparação consiste na colocação de um remendo de forma arredondada nos cantos (da mesma geomembrana) numa área que exceda pelo menos 0,15 m para cada lado da amostra retirada, e posterior união, sempre que possível, por termofusão. Novos ensaios não-destrutivos são realizados nos locais onde se efectuem reparações, para comprovação da qualidade das novas soldaduras.

4.5.2 MÉTODO ELÉCTRICO DE DETECÇÃO DE FUGAS

O controlo da integridade da impermeabilização é um dos factores mais importantes de segurança na concepção de um aterro. Devido ao longo período de utilização da geomembrana, é importante que o sistema de detecção de fugas tenha também uma elevada durabilidade e resistência.

Os sistemas que existem actualmente são desenvolvidos segundo este princípio. Por isso, as seguintes indicações técnicas são uma importante contribuição:

- 1) Mesmo uma pequena fuga, com diâmetro inferior a 5 mm será detectada.
- 2) A elevada durabilidade dos vários componentes que fazem parte do sistema é semelhante à durabilidade da geomembrana e respectivas soldaduras.
- 3) A resistência dos vários componentes do sistema de detecção pode ser conseguida com materiais de qualidade
- 4) A compatibilidade dos componentes durante a instalação no sistema de detecção de fugas, podem ser comprovado em vários projectos.
- 5) O sistema é feito de maneira, a que mesmo com a perda de alguns sensores, possa funcionar em plenas condições, mantendo o seu desempenho. Como regra, as fugas são detectadas por vários sensores, no caso de algum estar avariado, a fuga possa ser detectada por outro sensor vizinho.
- 6) A funcionalidade dos sensores e do sistema de detecção pode ser controlada a qualquer momento, mesmo depois da instalação estar completa e em funcionamento.

O sistema baseia-se na medição de diferenças de potencial, tendo em consideração o facto da corrente eléctrica acompanhar a humidade causada pela fuga. A distribuição da corrente eléctrica é efectuada por uma grelha de sensores aplicados sob a geomembrana, fazendo medições entre dois sensores.

Mais tarde, será gerado um campo eléctrico homogéneo por cima da geomembrana, sendo medido novamente a diferença de potencial, entre os mesmos dois sensores.

Havendo uma fuga na geomembrana será criado uma diferença de potencial eléctrico entre os dois sensores mais próximos da fuga.

Pela análise das diferenças de potencial, as fugas podem ser detectadas com elevado grau de precisão.

Uma condição fundamental para o bom funcionamento do sistema é a presença de humidade, quer acima quer abaixo da geomembrana, para que haja uma boa distribuição de corrente pelo local em análise.

Com o uso de componentes especialmente desenvolvidos, de elevada resistência devido à qualidade dos materiais, conjuntamente com uma elevada qualidade de controlo durante a produção e instalação, o uso do sistema está garantido para vigilância prolongada da integridade da impermeabilização.

4.5.2.1 MODO DE FUNCIONAMENTO

Por baixo da geomembrana é colocado uma grelha de sensores de 8 m por 8 m, que servirão para medir o potencial eléctrico. Cada um destes sensores está ligado à caixa de controlo através de um cabo independente.

Por cima da geomembrana, serão colocadas fontes de electricidade, de modo a gerar um campo eléctrico homogéneo. Estas fontes de electricidade serão também ligadas à caixa de controlo.

O sistema de sensores detecta a fuga na geomembrana através de uma passagem de corrente entre a camada de cima e de baixo da geomembrana, no caso do sistema de impermeabilização ser duplo, ou entre a geomembrana e o solo, onde são colocados os sensores, no caso de impermeabilização simples com apenas uma geomembrana. É essencial que exista humidade suficiente, quer na camada de cima quer na de baixo. O princípio baseia-se na medição de diferenças de potencial na grelha de sensores colocados sob a geomembrana.

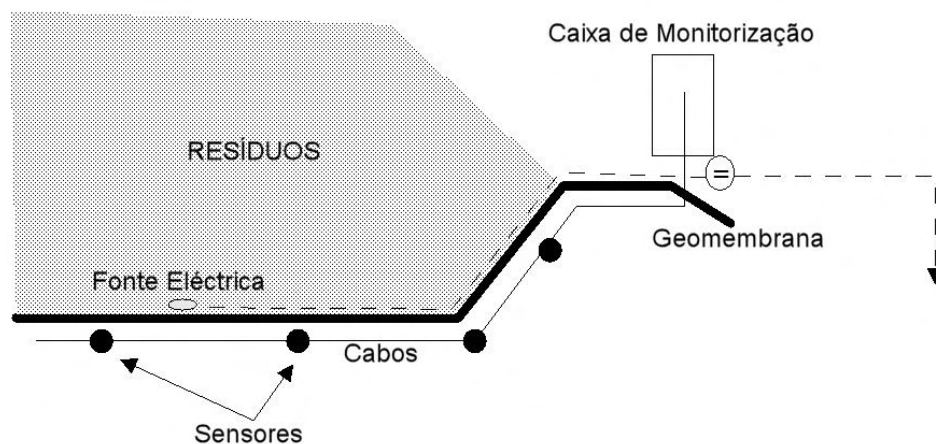


Figura 4.11 – Modo de funcionamento de um sistema de detecção de fugas.

Em detalhe, a medição ocorre da seguinte forma:

- 1) O potencial entre dois sensores próximos será medido – 1ª medição
- 2) Através das fontes de electricidade será emitida uma determinada voltagem por cima da geomembrana.
- 3) Os potenciais entre os mesmos dois sensores são medidos novamente paralelamente a acção anterior – 2ª medição.
- 4) Estes passos serão efectuados para todos os sensores, um após o outro.
- 5) As diferenças de potencial com e sem voltagem são calculadas.

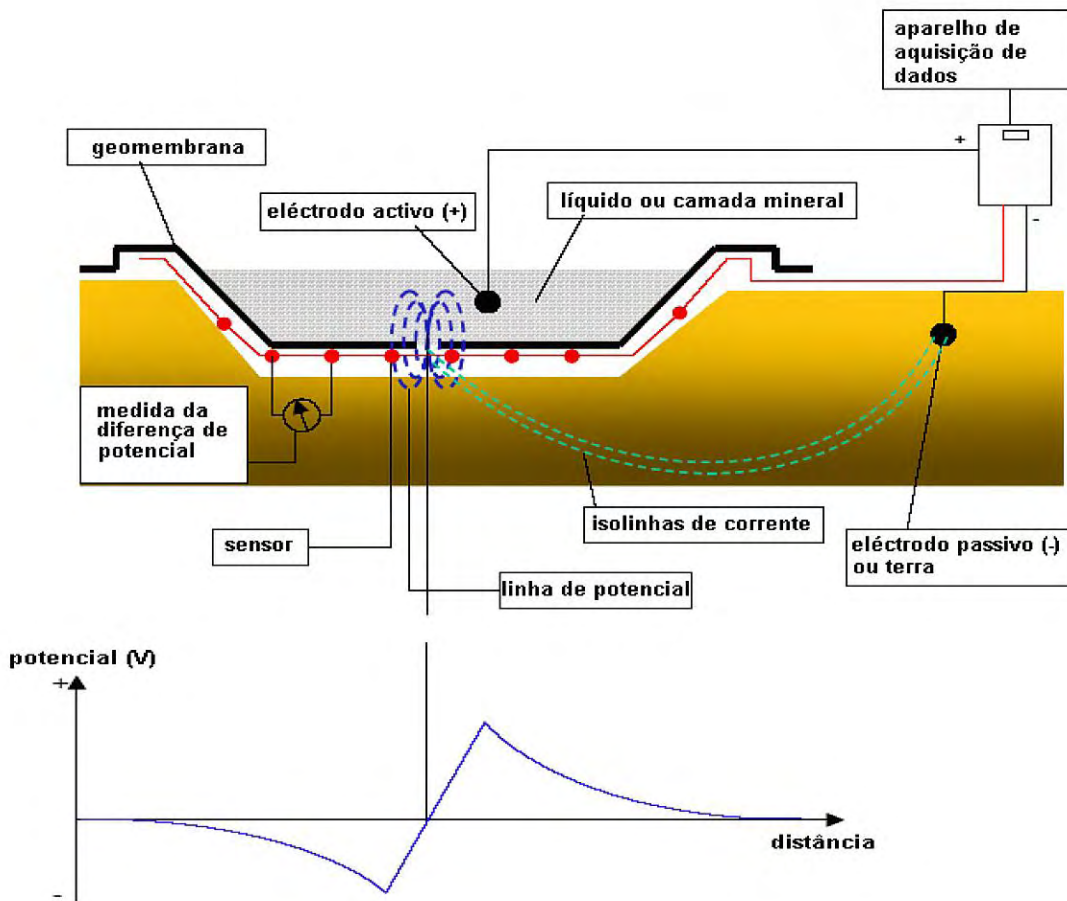


Figura 4.12 – Esquema do ensaio com sistema fixo de detecção e localização de orifícios.

Caso exista um buraco na geomembrana a carga eléctrica passará de cima para baixo da geomembrana, mostrando em dois sensores vizinhos um grande aumento na diferença de potencial. Através de vários níveis de diferença de potencial entre a primeira e a segunda medição a posição da fuga pode ser localizada.

Se a área a ser controlada for muito grande, é preferível separá-la em secções mais pequenas, que poderão ser medidas independentemente umas das outras.

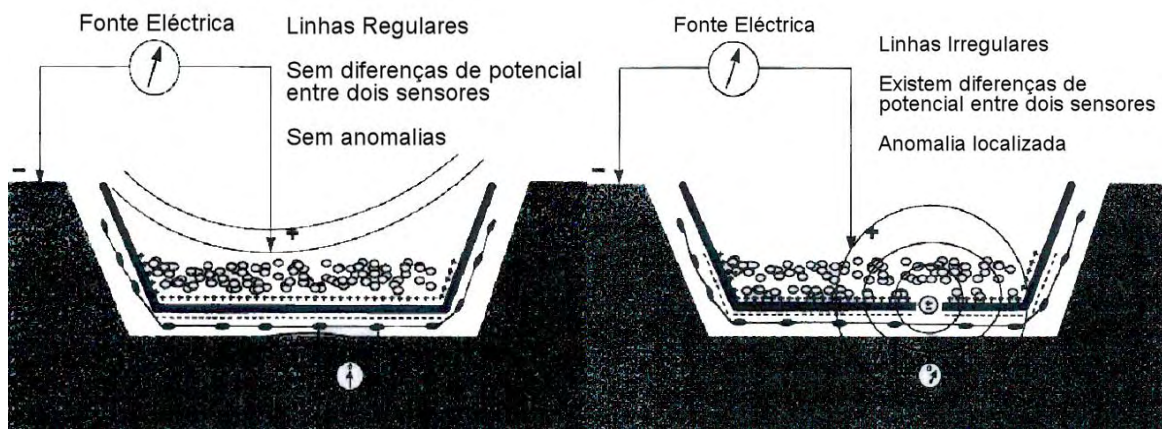


Figura 4.13 – Geomembrana com fuga.

4.5.2.2 DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SISTEMA

O sistema de detecção de fugas é constituído pelos seguintes componentes, que poderão depender do modelo de configuração do sistema:

- 1) Componentes de contacto;
- 2) Unidade de medição;
- 3) Unidade de interpretação de resultados.

Componentes de contacto

Os componentes de contacto constituintes do sistema de detecção de fugas são instalados perto da camada de impermeabilização a testar, sendo necessário estar em funcionamento durante longos períodos. Assim, a sua durabilidade é de grande importância, conforme foi referido anteriormente.

Os componentes de contacto do sistema de detecção de fugas são:

- 1) Sensores flexíveis;
- 2) Cabos;
- 3) Fontes de electricidade e pólos negativos;
- 4) Caixas de controlo.

1) Sensores não metálicos

Para a medição de diferenças de potencial abaixo da geomembrana, os sensores não metálicos são instalados em grelha.

A grelha é efectuada com afastamento de cerca de 8 m de distância entre sensores. Nas áreas limites e de maior risco, por exemplo: construções, a distância entre os sensores poderá ser menor.

Os sensores não metálicos são constituídos por polietileno condutor. A ligação do cabo ao sensor é feita através de materiais em polietileno. Os sensores apresentam uma elevada resistência contra agressões mecânicas e químicas, que poderão existir num aterro sanitário.

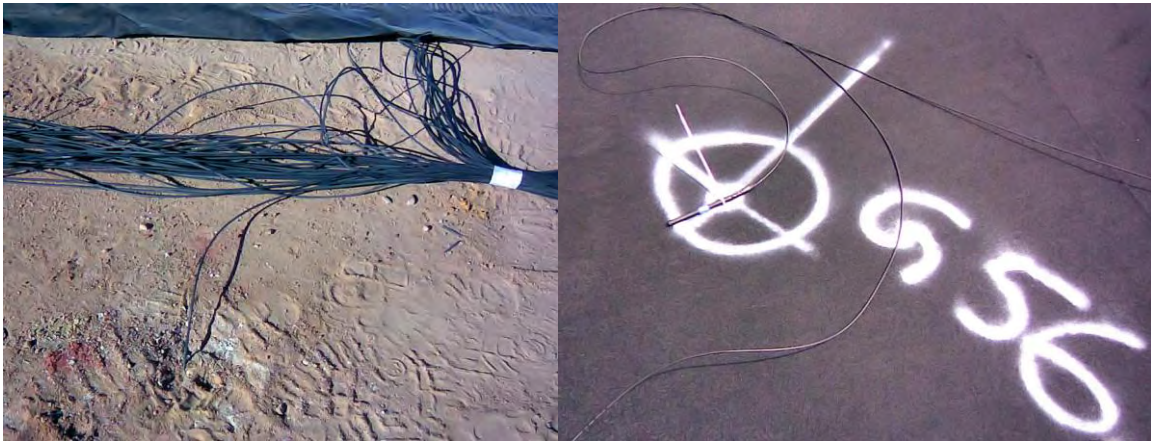


Figura 4.14 – Sensores instalados em sistema simples e duplo de impermeabilização.

2) Cabos

Os cabos do sistema de detecção de fugas são constituídos por fios de cobre e aço protegidos por uma capa em polietileno.

Os fios de cobre servem como transmissor do sinal medido e os fios de aço aumentam a resistência do cabo.

Os cabos foram especialmente desenvolvidos para serem usados em obras como os aterros, resistindo a uma grandes tensões e permitindo uma simples instalação devido ao seu pequeno diâmetro.

Como regra os cabos são instalados com folga para compensar alguma tensão suplementar.

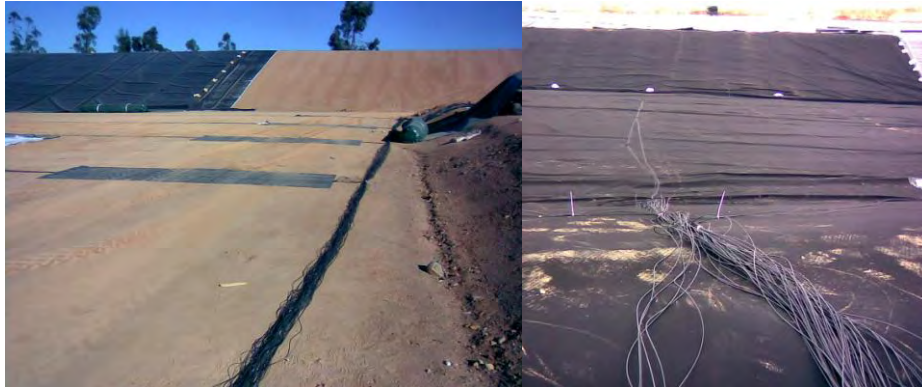


Figura 4.15 – Cabos de um sistema de detecção de fugas em impermeabilização simples e dupla.

3) Fontes eléctricas e solos

As fontes eléctricas e os pólos negativos consistem numa lâmina de aço inoxidável com as dimensões de 20 cm x 3 cm. Estes estão ligados a cabos através de um metal condutor e mangas retrácteis.

As fontes eléctricas serão instaladas sobre a camada impermeabilizada a cada 40 m.

Deverá ser evitado o movimento de equipamentos pesados directamente sobre as fontes eléctricas e cabos, devendo este ser efectuado entre linhas de cabos.

Através das fontes eléctricas criar-se-á um campo eléctrico homogéneo sobre a área impermeabilizada, que servirá para a medição.

Dado as fontes eléctricas estarem em funcionamento por um pequeno período de tempo, não é necessário ter procedimentos extra de segurança.

Como regra, o pólo negativo será instalado no solo a uma distância superior a 100 m desde o local a medir. Uma vez que as condições de medição que mudam com o tempo, o pólo negativo poderá ser instalado temporariamente para a medição.



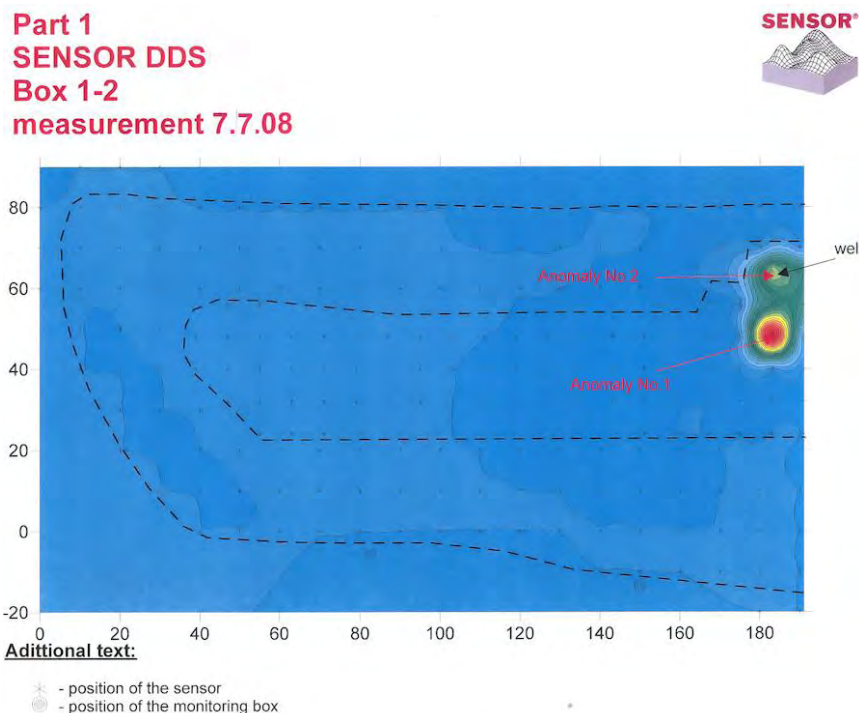
Figura 4.16 – Caixas de um sistema eléctrico de detecção de fugas.

Este método permite localizar orifícios com uma precisão correspondente a 15 % do espaçamento entre dois sensores, que varia normalmente entre 0,5 a 1 m. A área máxima de ensaio não deve ser superior a 10 000 m² (compreendendo em média entre 130 a 200 sensores), sendo necessário entre 5 e 12 minutos para se efectuarem as leituras, após calibração do equipamento. Este ensaio pode ser realizado em geomembranas não condutoras, cobertas ou não, desde que os materiais em contacto com as suas superfícies inferior e superior sejam condutores e o mais homogêneos possível.

4.5.2.3 DETECÇÃO DE FUGA – CASO PRÁTICO

Mostra-se a seguir o caso prático de uma fuga detectada em aterro com o sistema eléctrico de detecção de fugas descrito nos anteriores subcapítulos. Aqui pode-se verificar, na Figura 4.17, a detecção de uma diferença de potencial eléctrico registada pelo sistema através dos sensores, que indica a presença de algum tipo de dano na geomembrana.

Na figura está representada a célula de resíduos com a indicação dos sensores instalados, sendo assim possível com exactidão detectar a zona danificada (Figura 4.18) e consequentemente, efectuar a reparação (Figura 4.19) como descrito na secção 3.6.6.2.



**Part 1
SENSOR DDS
Box 1-2
measurement 7.7.08**

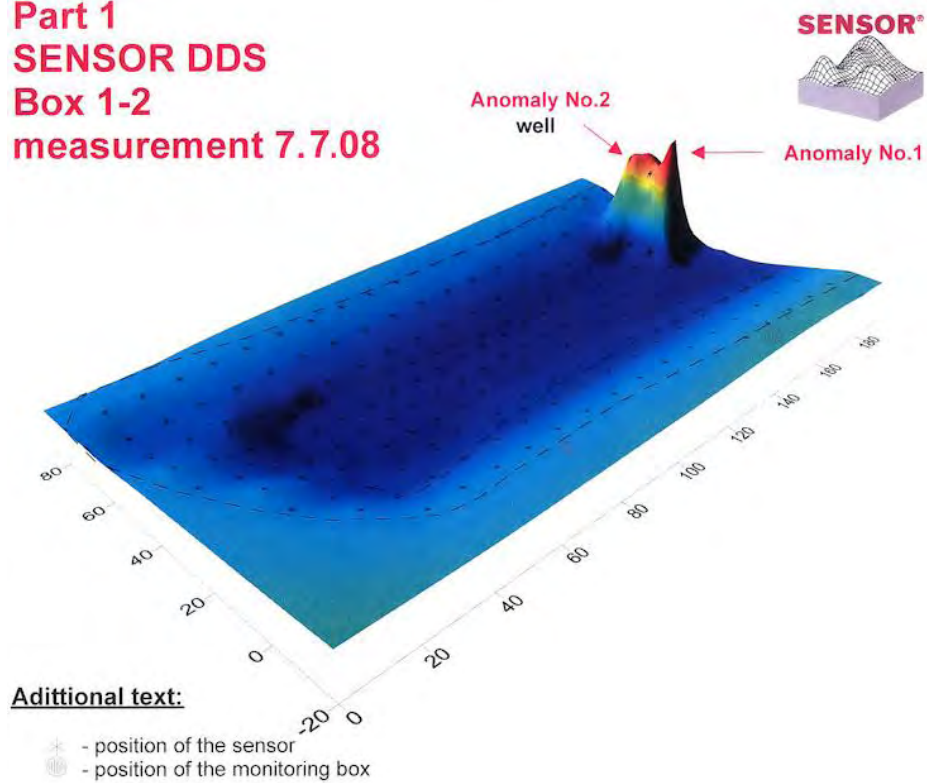


Figura 4.17 – Exemplo de uma fuga detectada pelo sistema eléctrico de detecção de fugas.

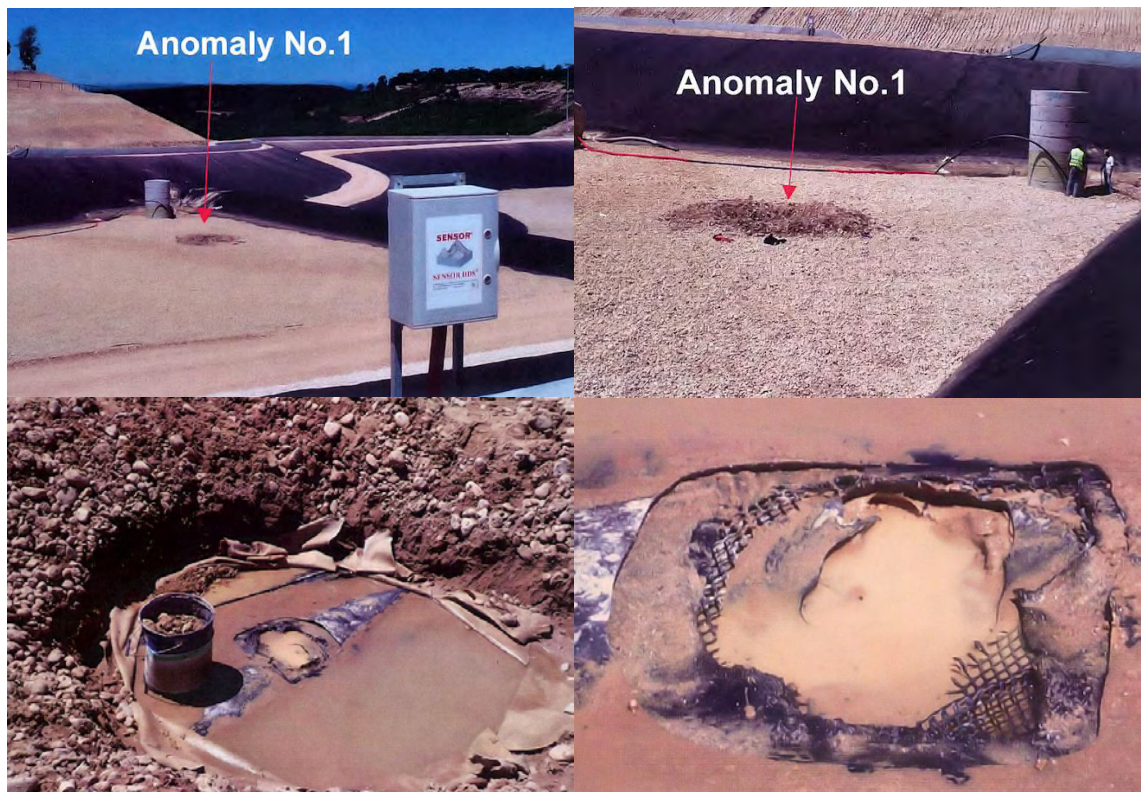


Figura 4.18 – Detecção e localização da fuga através do cruzamento de dados do sistema.



Figura 4.19 – Reparação da fuga detectada recorrendo a um remendo de geomembrana em PEAD e soldadura por extrusão.

5 CONCLUSÕES

A necessidade de protecção ambiental do âmbito da eliminação de resíduos por aterro coloca exigências de impermeabilização e de controlo a que as actuais tecnologias pretendem responder eficazmente.

Pode-se concluir que actualmente existe uma enorme variedade de geossintéticos que permitem suprir as necessidades de projecto e que conferem mais qualidade e segurança aos aterros hoje efectuados (em qualquer classe de aterros). Pode-se encontrar no mercado internacional, geossintéticos com as características técnicas necessárias para qualquer função de impermeabilização, selagem, civil ou geotécnica (drenagem, reforço, entre outros) que seja necessária em aterros de resíduos.

A utilização de geogrelhas como geossintético auxiliar em estabilização de muros e taludes em aterros veio diminuir o impacte ambiental gerado, através da diminuição de emissões gasosas e de partículas sólidas para a atmosfera (p.e. na diminuição do transporte e aplicação de solos de cobertura), e o uso e aquisição de solos.

A utilização de georredes e geocompostos drenantes em aterros é um factor muito importante que veio promover uma melhor condução das águas pluviais e dos efluentes ali gerados (lixiviados e gases – principalmente o metano produzido na degradação dos resíduos), aumentando assim a possibilidade da sua captação e posterior tratamento, melhorando substancialmente a estabilidade, fiabilidade e segurança dos mesmos em relação aos impactes no meio ambiente.

O uso de geotêxteis veio melhorar a qualidade dos aterros no que concerne à sua segurança, quer como protecção à geomembrana (mecânica, raios ultra-violetas), quer como reforço de estabilidade do solo ou mesmo de drenagem e separação das camadas de resíduos e solos utilizados nos mesmos. A sua composição, preço e aplicabilidade em obra é, como já foi referido anteriormente, actualmente uma mais-valia muito significativa nas várias fases de exploração de aterros.

Os geocompostos bentoníticos, conforme foi analisado no decorrer deste trabalho, também vieram conferir uma maior segurança aos aterros, uma vez que, devido principalmente à sua alta capacidade de resistência ao punçamento, confere à geomembrana uma excelente protecção mecânica na sua parte inferior.

Também se deve referir as vantagens relativamente à protecção do meio ambiente, uma vez que a sua utilização em aterros diminui o uso de argilas e consequentemente as emissões de poluentes relacionados com a aquisição, transporte e aplicação das mesmas. Vantagens acrescidas a nível económico pelas razões atrás referidas mas também pela facilidade e alto rendimento de aplicação, uma vez que não é necessária mão-de-obra especializada para o efeito.

No que respeita à utilização de geossintéticos em aterros, a utilização de geomembranas impermeáveis e sem componentes tóxicos na impermeabilização e selagem de aterros, pode ser considerado como o maior desenvolvimento nesta área. A sua aplicação confere aos aterros de resíduos uma segurança ambiental que não pode ser comparável a qualquer técnica anterior, uma vez que impede (caso não existam erros no processo de soldadura dos vários painéis ou de danos posteriores aquando da exploração do aterro) qualquer fuga de emissões quer líquidas quer gasosas para o meio ambiente, diminuindo assim os impactes da operação de gestão de resíduos no mesmo.

A utilização deste tipo de geossintéticos veio conferir também uma maior confiança na população em relação à deposição e armazenamento dos resíduos, diminuindo significativamente os aspectos negativos, como por exemplo, os cheiros e presença de animais indesejados, presentes nas antigas lixeiras.

Assim, pode-se concluir que os geossintéticos utilizados actualmente respondem à maior exigência de segurança e fiabilidade em aterros de resíduos, nomeadamente no que diz respeito ao meio ambiente, de modo a minimizar nestes os impactos gerados pela produção emissões indesejadas e garantir as condições necessárias para evitar a poluição do ar, do solo, das águas subterrâneas e superficiais.

Embora seja considerado seguro a colocação em aterro, deve referir-se que o uso de aterros deve ser restringido ao mínimo indispensável bem como a presença de matéria orgânica biodegradável que à grande responsável pelos problemas de gestão de lixiviados e gases que a degradação dos resíduos orgânicos origina. Para atenuar estes problemas há necessidade de sensibilizar da população com vista à minimização da produção de resíduos sólidos urbanos e para uma melhoria ambiental e social.

Referências bibliográficas

- ASTM D 4437 – “Standard practice for determining the integrity of field seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes”, American Society for Testing Materials, USA.
- ASTM D 5641 – “Standard practice for geomembrane seam evaluation by vacuum chamber”, American Society of Testing Materials, USA.
- ASTM D 5820 – “Standard practice for pressurized air channel evaluation of dual seamed geomembranes”, American Society for Testing Materials, USA.
- ASTM D 6392 (1999). “Standard Test Method for Determining the Integrity of Nonreinforced Geomembrane Seams Produced Using Thermo-Fusion Methods”.
- ASTM D 6693 (2001). “Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes”.
- ASTM D 6747 – “Standard Guide for Selection of Techniques for Electrical Detection of Potential Leak Paths in Geomembrane”, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Barret, J. R. (1966). “Use of plastic filters in coastal structures”, Proc. of 10th Int. Conf. On Coastal Engineering. Tokyo, pp. 1048-1067.
- Beckam, W.K., Mills W.H. (1935). “Cotton – fabric-reinforced roads”, Engineering News Record, Vol.115, n.º 14, pp. 453-455.
- Bishop, D. J. (1995): “Practical Aspects of Geosynthetic Clay Liners (GCLS)”, Geosynthetics World, Vol.5, No. 5, November/December 1995.
- Boardman, B. T. and Daniel, D. E. (1996). “Hydraulic Conductivity of Desiccated Geosynthetic Clay Liners”, J. Geotechnical Eng., ASCE, Vol. 122, No. 3, pp. 204-208.
- Boltze & De Freitas (1994). “Monitoring requirements for the calculation of gas emission in changing natural environments”, 7th Congress IAEG, Lisbon, p. 4771-4779.
- Egloffstein, T. A. (1997): “Geosynthetic Clay Liners, Part Six: Ion Exchange.”, GFR, Vol. 15, no. 5.
- Gicot, O. e Perfetti, J. (1982). “Geotextiles: Conceiving and Designing Engineering Structures. Rhone – Poulenc Fibres”, Bezons, 44 p.
- GRI – Geosynthetic Research Institute (1998). “GRI Test Method GM 14” – “Selecting Variable Intervals for taking Geomembrane Destructive Seam Samples using the Method of Attributes”, Drexel University – PA – USA.
- GRI – Geosynthetic Research Institute (2005). “GRI Test Method GM 19” – Seam Strength and Related Properties of Thermally Bonded Polyolefin Geomembranes”, Drexel University – PA – USA, Revision 2.
- GRI – Geosynthetic Research Institute (2006). “GRI Test Method GM 13” – Standard Specification for “Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes”, Drexel University – PA – USA, Revision 7.
- GRI GG4 (b) (1991). “Standard Practice for Determination of Long-Term Strength of Flexible Geogrids”, Geosynthetic Institute – Drexel University – USA.

- Heerten, G., Saathoff, F., Scheu, C., von Maubeuge, K. P. (1995): "On The Long-Term Shear Behaviour Of Geosynthetic Clay Liners (GCLS) In Capping Sealing Systems.", Proceedings of the International Symposium "Geosynthetic Clay Liners", Nuremberg, pp. 141-150.
- IFAI Publication (2004). "Specifier's Guide", GFR – Volume 22, Number 9, December, pp. 145-158.
- Lopes, M. G. D. A. (1999). "Experiência no controlo de qualidade da construção de aterros de resíduos. 2^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos", LNEC, Lisboa.
- MAOTDR (2007). "PERSU II. Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-1016", Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- MBG (2004). "Manual Brasileiro de Geossintéticos", Editora Edgard Blücher.
- Paulino Pereira, J. & Nunes da Costa, C. (1995). "A contribuição da Geotecnia na selecção de locais de armazenamento de resíduos sólidos urbanos", Seminário Luso-Brasileiro de Geotecnia Ambiental, p. 359-368.
- Peggs I. D. & Little D. (1985). "The Effectiveness of peel and shear tests in evaluating HPDE geomembrane seams", 2nd Canadian Symposium on Geotextiles and Geomembranes, pp. 141-146.
- Peggs I. D. (1990). "Destructive testing of polyethylene geomembrane seams: Various methods to evaluate seams strength", Geotextiles and Geomembranes No. 9 (4), pp. 405-414.
- Koerner, R. M. (1999). "Designing with Geosynthetics", Fourth Edition. Prentice Hall, N.J.
- Richardson, G. N., Giroud, J. P. and Zhao, A. (2002). "Lateral drainage design update – Part 1", Geotechnical Fabrics Report, January/February 2002.
- Seibken, J., Swan, R. H., Yuan, Z. (1996): "Short-Term And Creep Shear Characteristics of a Needle punched Thermally Locked Geosynthetic Clay Liner", Testing and Acceptance Criteria for Geosynthetic Clay Liners, Atlanta, ASTM Symposium, pp. 65-70.
- Vantrain, J e PUIG, J. (1969). "Experimentation Bidim", Bull. de Lab. P. et Ch., N.º 41, 15 p.

Sítios de internet consultados:

OECD Environmental Outlook to 2030 – www.oecd.org/dataoecd/46/15/40220494.pdf

PCIP, Resíduos e Legislação – www.apambiente.pt

Geossintéticos – www.naue.com e www.bentofix.com

GRI Guides – www.geosynthetic-institute.org

Legislação Portuguesa de Resíduos – siddamb.apambiente.pt

Instalação de Geossintéticos – www.engepol.com

Outros:

Documentação técnica relativa a geossintéticos cedida pela B.B.F. – Tecnologias do Ambiente, Lda.

Anexo A – Exemplo de características técnicas de geogrelhas



Laid geogrid made of stretched, monolithic polypropylene (PP) flat bars with welded junctions used for the reinforcement in many fields of civil engineering including landfill engineering, road construction and hydraulic engineering

Geogrid Secugrid® Q (PP)

Product description:

Property	Test method*	Unit	20/20 Q1	30/30 Q1	40/40 Q1
Raw material	-	-	polypropylene (PP), white		
Mass per unit area	EN ISO 9864	g/m ²	155	200	240
Max. tensile strength, md / cmd**	EN ISO 10319	kN/m	≥ 20 / ≥ 20	≥ 30 / ≥ 30	≥ 40 / ≥ 40
Elongation at nominal strength, md / cmd**	EN ISO 10319	%	≤ 8 / ≤ 8		
Tensile strength at 2% elongation, md / cmd**	EN ISO 10319	kN/m	8 / 8	12 / 12	16 / 16
Tensile strength at 5% elongation, md / cmd**	EN ISO 10319	kN/m	16 / 16	24 / 24	32 / 32
Aperture size, md x cmd**	-	mm x mm	approx. 33 x 33	approx. 32 x 32	approx. 31 x 31
UV-resistance (remaining tensile strength)	EN 12224	%	95.0		
Weather resistance	FGSV	class	high		
Production specific elongation	-	%	0		
Roll dimensions, width x length	-	m x m	4.75 x 100		

*based on, **md = machine direction, cmd = cross machine direction

The listed technical values are guiding values, achieved in our laboratories and/or independent testing institutes. Our products are subject to changes without prior notice.

12 February 2007

Std Secugrid.XLS 20'20, 30'30, 40'40 Q1_en, Rev. 8

Anexo B – Exemplo de características técnicas de geocomposto drenante (geotêxtil+georrede)



INTERMAS NETS, S.A.
Ronda de Collsabadell, 11
E-08450 Llinars del Vallès
(Barcelona) SPAIN
TEL. 34-93-842 57 00
FAX 34-93-842 57 01
web: www.intermas.com
e-mail: geo@intermas.com

INTERDRAIN GM 412 Geocompuesto drenante



DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO:

INTERDRAIN GM 412 está constituido por una georred de Polietileno de alta densidad (PEAD) con 1 geotextil de Polipropileno (PP) termofijado a la georred. La georred está formada por dos hilos superpuestos que forman canales con alta capacidad de evacuación de agua, incluso colocados horizontalmente y sometidos a grandes cargas.

FUNCIONES:

DRENAGE, FILTRACIÓN, ANTICONTAMINATE DE FINOS y PROTECCIÓN en un solo producto.

PRINCIPALES APLICACIONES:

Sellados y vasos nuevos de vertederos, drenaje horizontal de terraplenes y plataformas (carreteras, ferrocarriles, tranvías), muros de contención, estribos de puentes, sótanos, canales, jardines y campos deportivos.

Características	GM 412	Unidad	Normativa
Georred drenante			
Material	Polietileno de alta densidad (PEAD)		
Espesor a 20 kPa / 200 kPa	4,2 / 3,8	mm	EN 964-1
Reducción del espesor por fluencia ⁽¹⁾	< 3	%	EN 1897-01
Geotextil filtro			
Material	Polipropileno (PP)		
Masa por unidad de superficie	120	g / m ²	EN 965
Punzonamiento dinámico (Caída de cono)	32	mm	EN 918
Punzonamiento estático (CBR)	1,4	kN	EN ISO 12236
Apertura de poro O ₉₀	90	µm	EN ISO 12956
Geocompuesto drenante			
Masa por unidad de superficie	620	g / m ²	EN 965
Espesor a 20 kPa / 200 kPa	4,5 / 4,0	mm	EN 964-1
Resistencia a la tracción máxima MD / CD	12 / 9	kN/m	ISO 10319
Elongación a rotura, MD / CD	50 / 50	%	ISO 10319
Resistencia al aplastamiento	> 1.250	kPa	ASTM D 1621
Capacidad drenante en el plano, MD		l/m-s	ISO 12958 ⁽²⁾
i = 1,0	σ = 10 kPa ⁽³⁾	1,77	
	σ = 20 kPa	1,26	
	σ = 50 kPa	1,11	
	σ = 200 kPa	0,83	
	σ = 500 kPa	0,30	
i = 0,1	σ = 20 kPa	0,30	
	σ = 50 kPa	0,26	
	σ = 200 kPa	0,16	
	σ = 500 kPa	0,04	

INTERDRAIN está disponible en rollos de **2 o 4 metros** de ancho y 50 m de longitud posee un solape de 10 cm en un lado para facilitar la instalación y evitar la entrada de tierra deberá cubrirse completamente durante los 14 días siguientes a la instalación

⁽¹⁾ Reducción del espesor de la georred sometida a 200 kPa tras 1.000 h de aplicación de la carga

⁽²⁾ ISO 12958 con placas rígidas de aluminio. Según esta Norma la variación aceptada en el ensayo es de +/-30%

⁽³⁾ Valor obtenido en el Laboratorio GEOTRAC (Universidad de Leeds, UK) según ISO 12958 con placas blandas de neopreno i: gradiente hidráulico

MD: dirección fabricación (longitudinal)

CD: dirección perpendicular a fabricación (transversal)

σ: presión normal al plano del geosintético

Las especificaciones dadas son valores medios fruto de nuestros conocimientos actuales, revisados y corregidos. **INTERMAS Nets SA** declina toda responsabilidad derivada de uso en proyectos u obras, y se entrega sólo a título informativo.



Versión Diciembre 2005

Anexo C – Exemplo de características técnicas de geotêxteis

I – Geotêxtil com protecção U.V.

Multifunctional geotextile for separation and filtration

Depotex® R 502



NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbestrasse 2
32339 Espelkamp- Fiestel
Germany
Phone: +49 57 43 / 41- 0
Fax: +49 57 43 / 41- 2 40
www.naue.com info@naue.com

Product description:

Single-layered needle-punched staple fibre nonwoven geotextile

Property	Test method*	Unit	
Raw material	-	-	polypropylene (PP), black
Mass per unit area	EN ISO 9864 (EN 965)	g/m ²	500
Thickness	EN ISO 9863-1 (EN 964-1)	mm	4.2
Max. tensile strength, md / cmd**	EN ISO 10319	kN/m	18.9 / 31.5
Elongation at max. tensile strength, md / cmd**	EN ISO 10319	%	60 / 40
Puncture force	EN ISO 12236	N	4,500
Elongation at static puncture strength	EN ISO 12236	%	35
Characteristic opening size	EN ISO 12956	mm	0.08
Water permeability	EN ISO 11058	m/s	4.0 x 10 ⁻²
- V _{IH50} -Index		l/sm ²	40
- Flow rate _{H50}			
Detector tested	-	-	yes
Roll dimensions, width x length	-	m x m	5.80 x 50

*based on, **md = machine direction, cmd = cross machine direction



(Production Management)


(Quality Control)

The listed technical values are guiding values, achieved in our laboratories and/or independent testing institutes. Our products are subject to changes without prior notice.

1 June 2006

II – Geotêxtil para protecção mecânica e/ou filtro




0799-CPD

DATA SHEET

No. 23/CE Revision 03 dated 1/3/2006
Mod. 03 PGQ 5.4_01 Rev. 01 del 03.09.2007

certifying body:



tBU
Institut für textile
Bau- und Umwelttechnik











GEO PP AG 300

Geo&tex 2000 S.p.A., Via XXV Aprile 3, I-36020 San Nazario (VI) - ITALY


07
0799 - CPD - 15


Non woven Geotextile manufactured from UV-stabilised polypropylene staple fiber, only needlepunched


suitable for the following applications:


<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13249 : Characteristics required for use in the construction of roads and other trafficked areas</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13251 : Characteristics required for use in earthworks, foundations and retaining structures</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13253 : Characteristics required for use in erosion control works (coastal protection, bank revetments)</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13255 : Characteristics required for use in the construction of canals</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left;">EN 13257 : Characteristics required for use in solid waste disposal</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13250 : Characteristics required for use in the construction of railways</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13252 : Characteristics required for use in drainage systems</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13254 : Characteristics required for use in the construction of reservoirs and dams</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left; margin-bottom: 5px;">EN 13256 : Characteristics required for use in the construction of tunnels and underground structures</div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"><input checked="" type="checkbox"/> </div> <div style="text-align: left;">EN 13265 : Characteristics required for use in liquid waste containment projects</div> </div>
---	---


Functions:


☒ 

☒ 

☐ 

☒ 


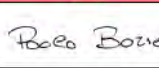

☐ 

☒ 

Characteristic	Test Method	Unit	Nominal Value	Tolerance
Mass per unit area	EN ISO 9864	g/m ²	300	± 10%
Thickness	EN ISO 9863-1	mm	2,40	± 20%
Wide-Width Tensile Strength	EN ISO 10319	kN/m	MD	22,00
			CMD	22,00
Elongation	EN ISO 10319	%	MD	± 20
			CMD	± 20
Static Puncture Resistance	EN ISO 12236	N	3700	-370
Dynamic Perforation Test	EN ISO 13433	mm	11,00	+ 2,00
Characteristic Opening Size	EN ISO 12956	µm	80	± 30
Permeability normal to the Plane	EN ISO 11058	m/s	0,060	-0,018
Long Term Protection Efficiency	EN 13719	%	300 kPa	NR
			600 kPa	NR
			1200 kPa	NR
Water Flow Capacity in the Plane	EN ISO 12958	m ² /s	20 kPa	3,20E-06
			100 kPa	1,20E-06
			200 kPa	8,00E-07
Durability	EN 12224	To be covered within 1 month after installation. Predicted to be durable for more than 25 years in natural soils with 4<ph<9 and soil temperature < 25 °C		
Oxidation Resistance	EN ISO 13438	Residual Strength	MD	100%
			CMD	100%
Chemical Resistance	EN 14030	Residual Strength	MD	100%
			CMD	99%
Microbiological Resistance	EN 12225	Residual Strength	MD	90%
			CMD	99%

MD : Machine Direction - CMD : Cross Machine Direction - NR : Not Required for application

TOLERANCE ON ROLL WIDTH: ± 3 cm. TOLERANCE ON ROLL LENGTH: ± 2% IF LENGTH ≤ 200 m, ± 1% IF LENGTH > 200 m.
STANDARD CORES: PAPER, DIAMETER INNER 81mm / OUTER 89mm ± 5%. TOLERANCE ON GROSS/NET WEIGHT ± 5%.
TECHNICAL DATA BASED ON STATISTIC ANALYSIS ON 95% CONFIDENCE LIMIT. PRESENT DATA SHEET CAN BE MODIFIED WITHOUT PRIOR NOTICE

Date	Verified	Approved
1/3/2006	1/3/2006	1/3/2006
		



Geo&tex 2000 S.p.A., Via XXV Aprile 3, I-36020 San Nazario (VI) - ITALY
Tel. +39 (0)424 98330 - Fax. +39 (0)424 98593
www.geotex2000.com - info@geotex2000.com



Anexo D – Exemplo de características técnicas de um geocomposto bentonítico

Fibre-reinforced Geosynthetic Clay Liner (GCL)

Bentofix® NSP 4900



The following table lists properties of **Bentofix® NSP 4900**, a shear strength transmitting geosynthetic clay liner, continuously needle-punched through all components. Additional bentonite powder is impregnated into a 50 cm overlapping area on both longitudinal sides of the cover layer. The 30 cm longitudinal overlapping area is marked on the bottom side.

Property	Test method*	Unit	Values
Geotextile layers:			
Cover layer (polypropylene nonwoven):			
Mass per unit area	EN ISO 9864	g/m ²	220
Carrier layer (polypropylene woven):			
Mass per unit area	EN ISO 9864	g/m ²	110
Bentonite layer (sodium bentonite powder):			
Mass per unit area	EN 14196 (p_{TON})	g/m ²	4,670
Swell index	ASTM D 5890	ml/2g	24
Fluid Loss	ASTM D 5891	ml/2g	≤ 18
Water content	DIN 18121 / ISO 11465 (5hrs, 105 °C)	%	approx. 10
Geosynthetic Clay Liner:			
Mass per unit area	EN 14196 (p_{GBR-C})	g/m ²	5,000
Thickness	EN ISO 9863-1	mm	6.0
Max. tensile strength, md/cmd**	EN ISO 10319 / ASTM D 4595	kN/m	12.0 / 12.0
Elongation at break, md/cmd**	EN ISO 10319 / ASTM D 4595	%	10.0 / 6.0
Peel strength	ASTM D 6496	N/10 cm***	≥ 60
		N/m	≥ 360
Permeability / Hydraulic Conductivity	DIN 18130 / ASTM D 5887	m/s	2×10^{-11}
Index Flux	DIN 18130 / ASTM D 5887	(m ³ /m ²)/s	5×10^{-9}
Roll dimensions:			
width x length, / diameter	-	m x m / m	4.85 x 40 / Ø 0.65

* = based on; **md = machine direction, cmd = cross machine direction; ***max. peak

The listed technical values are guiding values, achieved in our laboratories and/or independent testing institutes. Our products are subject to changes without prior notice.

22 December 2006

Std Bentofix.XLS **NSP 4900 (e)**, Rev. 4

Anexo E – Exemplo de características técnicas de uma geomembrana lisa



NAUE GmbH & Co. KG
Windmühlenweg 4
47906 Kempen
Germany
Phone: +49 2845 808 - 155
Fax: +49 2845 808 - 116
www.naue.com info@naue.com

Technical Data 2078

Carbofol® Type HDPE 406 OIT
smooth/smooth

dated: 28.01.2008

Property	Test Method	Unit					
Thickness nominal -5%	ASTM D 5199	mm	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
Width	/	mm	9400	9400	9400	9400	9400
Density	ASTM D 1505 ASTM D 792	g/cm³	0,942	0,942	0,942	0,942	0,942
Melt flow index	ASTM D 1238 Cond. P 190/5	g/10 min	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0
Melt flow index	ASTM D 1238 Cond. E 190/2,16	g/10 min	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Tensile strength at yield	ASTM D 6693	N/mm MPa	16 16	25 16	33 16	43 16	50 16
Elongation at yield	ASTM D 6693	%	12	12	12	12	12
Tensile strength at break	ASTM D 6693	N/mm MPa	28 > 26	45 > 26	60 > 26	80 > 26	90 > 26
Elongation at break	ASTM D 6693	%	700	700	700	700	700
Carbon black content	ASTM D 1603	%	2	2	2	2	2
Carbon black dispersion	ASTM D 5596	Category	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
Tear resistance	ASTM D 1004	N	130	200	280	350	450
Cold bending at -20°C	ASTM D 2136	—	passed	passed	passed	passed	passed
Multi axial elongation	Based on DIN 53861 / EN 14151	%	15	15	15	15	15
ESCR	ASTM D 1693	hours	2000	2000	2000	2000	2000
Perforation resistance	DIN 16726	mm	450	800	1200	1600	1800
Dimensional stability after warm storage 1h/100°C	ASTM D 1204	%	≤ 2	≤ 2	≤ 1	≤ 1	≤ 1
NCTL – Test	ASTM D 5397 app.	hours	> 300	> 300	> 300	> 300	> 300
OIT	ASTM D 3895	min	100	100	100	100	100
Puncture resistance	ASTM D 4833 EN ISO 12236	N	390 2600	500 4000	700 5400	820 6700	1000 7500

file: 2078 - 406 s-s OIT Rev.7 en.doc

The listed technical values are guiding values, achieved in our laboratories and/or independent testing institutes. Our products are subject to change without prior notice.

Anexo F – Impresso de qualidade e layout de aplicação

I – Impresso de qualidade tipo para geomembrana



INSTALAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS

GEOMEMBRANA PEAD					GEOMEMBRANA PEAD			
Posição nº	Rolo nº	Data	Comp.		Posição nº	Rolo nº	Data	Comp.
1	13272113	05/08	40		31	13232246	07/08	10
2	13272113	05/08	40		32	13232246	07/08	11,5
3	13272113	05/08	40		33	13232246	07/08	13
4	13272116	05/08	43,5		34	13232246	07/08	15
5	13272116	05/08	45		35	13232246	07/08	17
6	13272118	05/08	48		36	13232246	07/08	19
7	13272118	05/08	54		37	13232246	07/08	21
8	13272123	05/08	56,4		38	13232247	07/08	24
9	13272123	05/08	59		39	13232247	07/08	25,5
10	13272121	05/08	60		40	13232247	07/08	27
11	13272116	05/08	64		41	13232247	07/08	28,5
12	13272117	05/08	68		42	13232235	07/08	30
13	13272114	05/08	73		43	13232235	07/08	30
14	13272115	05/08	74,5		44	13232235	07/08	30
15	13272123	06/08	76		45	13232235	07/08	30
16	13272118	06/08	77		46	13232225	08/08	30
17	13272122	06/08	77		47	13232225	08/08	30
18	13272122	06/08	77		48	13232225	08/08	30
19	13272115	06/08	77		49	13232225	08/08	30
20	13272114	06/08	77		50	13232235	08/08	30
21	13272121	06/08	77		51	13232235	08/08	30
22	13272112	06/08	77		52	13232235	08/08	30
23	13232238	06/08	77		53	13272295	13/08	76
24	13232247	06/08	77		54	13272213	13/08	74
25	13232236	06/08	77		55	13272295	13/08	71
26	13232237	06/08	77		56	13272292	13/08	68
27	13232236	06/08	77		57	13272224	13/08	2
28	13232246	07/08	4		58	13272224	13/08	5
29	13232246	07/08	6		59	13272224	13/08	8
30	13232246	07/08	8		60	13272224	13/08	15

II – Exemplo de um *layout* de aplicação de geomembrana



Anexo G – Impresso tipo de testes não destrutivos



Instalação de Geossintéticos

SOLDADURAS

SOLDADURAS				TESTES NÃO DESTRUTIVOS				
Soldadura Nº	Posição	Tipo	Comp.	Tipo	Pressão	Data	Operador	Fiscaliz.
1	1-2	DP	40	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
2	2-3	DP	40	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
3	3-4	DP	40	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
4	4-5	DP	43,5	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
5	5-6	DP	45	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
6	6-7	DP	48	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
7	7-8	DP	54	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
8	8-9	DP	56,4	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
9	9-10	DP	59	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
10	10-11	DP	60	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
11	11-12	DP	64	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
12	12-13	DP	68	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
13	13-14	DP	73	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
14	14-15	DP	74,5	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
15	15-16	DP	76	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
16	16-17	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
17	17-18	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
18	18-19	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
19	19-20	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
20	20-21	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
21	21-22	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
22	22-23	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
23	23-24	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
24	24-25	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
25	25-26	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
26	26-27	DP	77	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
27	28-29	DP	4	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
28	29-30	DP	6	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
29	30-31	DP	8	Pressão	2 bar	12/08	Jorge	Ok
30	31-32	DP	10	Pressão	2 bar	25/08	Tiago	Ok
IMP.TESTPRES.11.001-Ed.1					1/7			

Anexo H – Impresso tipo de testes destrutivos



TESTES DESTRUTIVOS

Obra:

Amostra N°	Localização	Provete N°	Ensaio de Arranque kN/m	Ensaio de Corte kN/m	Data	Largura do provete mm	Velocidade de ensaio mm/min
1	60/61	1	36,10	48,45	04/01/2008	20	51
		2	36,10	48,45			
		3	38,00	47,98			
		4	38,48	47,50			
		5	37,52	48,45			

Amostra N°	Localização	Provete N°	Ensaio de Arranque kN/m	Ensaio de Corte kN/m	Data	Largura do provete mm	Velocidade de ensaio mm/min
2	62/75	1	37,05	43,23	04/01/2008	20	51
		2	34,68	44,18			
		3	34,68	43,70			
		4	33,25	42,75			
		5	34,20	43,70			

Amostra N°	Localização	Provete N°	Ensaio de Arranque kN/m	Ensaio de Corte kN/m	Data	Largura do provete mm	Velocidade de ensaio mm/min
3	76/77	1	34,20	45,60	04/01/2008	20	51
		2	33,25	44,65			
		3	33,73	44,18			
		4	36,10	44,18			
		5	34,20	43,23			

Amostra N°	Localização	Provete N°	Ensaio de Arranque kN/m	Ensaio de Corte kN/m	Data	Largura do provete mm	Velocidade de ensaio mm/min
4	78/79	1	34,83	43,23	04/01/2008	20	51
		2	32,88	44,18			
		3	35,63	43,70			
		4	35,63	42,75			
		5	34,20	43,70			

Técnico responsável: